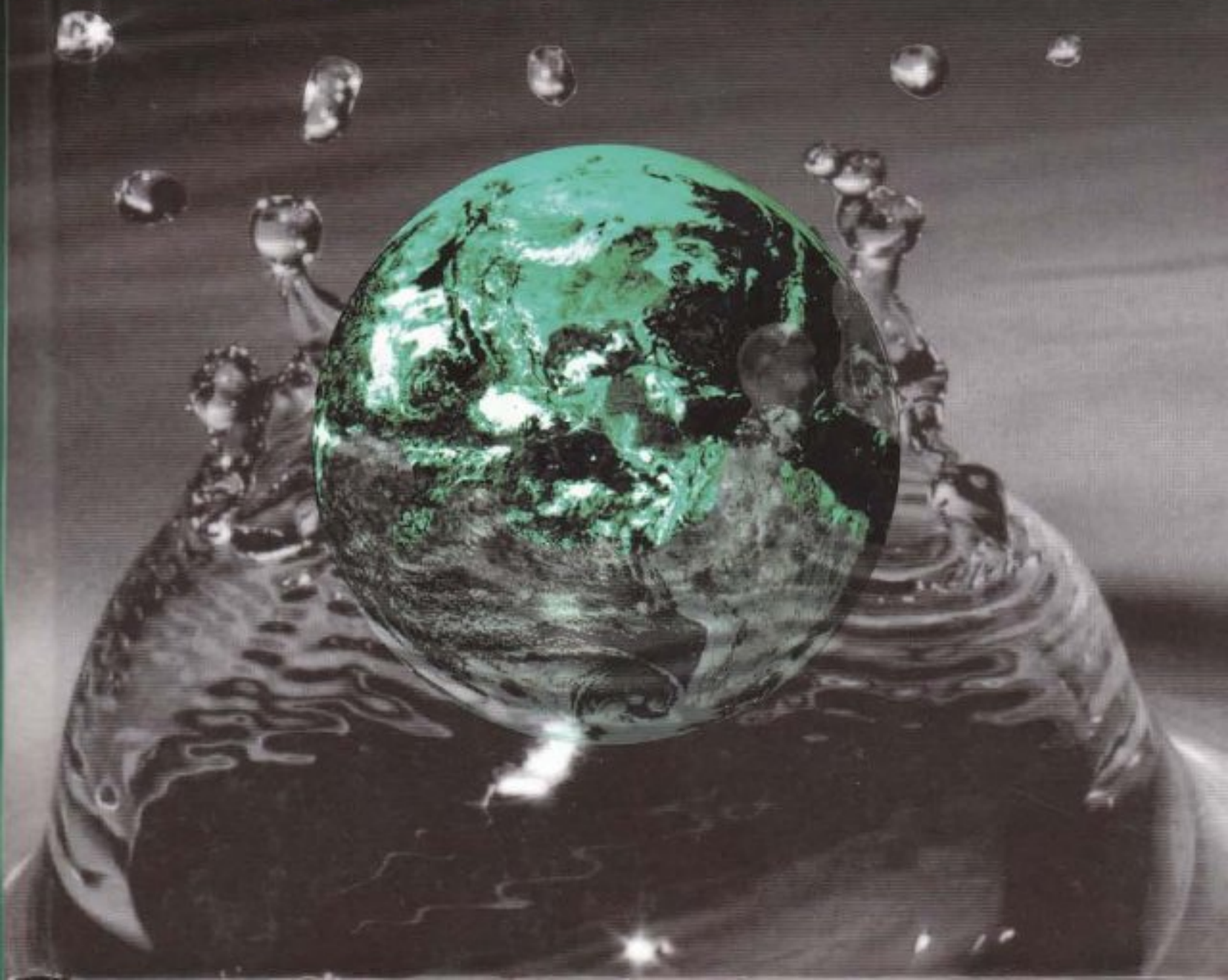


UNIVERSUL MAGIC

Nigel Calder



Nigel Calder

UNIVERSAL MAGIC

MAGIC UNIVERSE

Nigel Calder

Copyright © Nigel Calder 2003

Magic Universe: Oxford Guide to Modern Science was originally published in English in 2003.

This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

UNIVERSUL MAGIC

Nigel Calder

Copyright © 2008, Editura **ALL EDUCATIONAL**

Universul magic a fost publicată în limba engleză în 2003.

Această traducere este publicată cu acordul Oxford University Press.

Toate drepturile rezervate Editurii **ALL EDUCATIONAL**

Nicio parte din acest volum nu poate fi copiată fără permisiunea scrisă a Editurii **ALL**.

Drepturile de distribuție în străinătate aparțin în exclusivitate editurii.

All rights reserved. The distribution of this book outside Romania,

without the written permission of **ALL Educational**, is strictly prohibited

Copyright © 2008 by **ALL EDUCATIONAL**

ISBN 978-973-684-659-5

Editura **ALL: Educational** Bd. Constructorilor, nr. 20A,
sector 6, cod 060512 – București
Tel.: 402 26 00
Fax: 402 26 10

Departamentul distribuție: Tel.: 402 26 34
Comenzi la: comenzi@all.ro
www.all.ro

Redactor: Ioana Plăvițu
Coperta: Alexandru Novac

Nigel Calder

UNIVERSUL MAGIC

Traducere:
VASILESCU VIVIANA
VASILESCU ANDREI-VLAD



CUPRINS

Introducere	1
Bine ați venit pe pânza de păianjen!	
Alcoolul	4
Revelații genetice despre drojdia de bere	
Altruism și agresivitate	6
În căutarea originilor alternativelor umane	
Amprenta ADN	15
De la cazuri de paternitate la diversitatea facială	
Antimateria	17
„Haina cosmică” a lui Saharov îi explică oare absența?	
Arabidopsis	27
Planta modestă care le-a oferit botaniștilor o viziune de ansamblu	
Arborele vieții	32
Bacterii eterogene și cursul evoluției	
Armele nucleare	41
O cursă disperată	
Astronautica	47
Vor fi depășiți pionierii zborurilor spațiale de către nepoții lor?	
Bacteriile extremofile	53
Creaturi care se dezvoltă în condiții extreme	
Big Bang	59
Prestidigația inflaționistă a Universului	
Biodiversitatea	68
Matematicile coexistenței	
Bioșfera din spațiu	77
„Vreau să cuprind toată lumea”	
Biți și qubiți	84
Lumea digitală și mirajul umbrei sale cuantice	

CUPRINS

Bolile plantelor	88
O cursă evoluționistă a înarmării sau doar un război de gherilă?	
Bosonii Higgs	93
Cercetări de miliarde de dolari pentru descoperirea particulelor producătoare de masă	
Călătorii cu viteza luminii	100
O viziune practică asupra relativității speciale	
Ceasurile biologice	107
Mașini moleculare ce guvernează viața de zi cu zi	
Celulele stem	113
Ingineria țesuturilor, naturală și medicală	
Cerealele	117
Ameliorări genetice pentru cei mai favorizați locuitori ai planetei	
Chiralitatea	124
Stânga contra dreapta – mistere de nedezlegat	
Ciclul carbonului	132
Cum interacționează acesta cu clima globală?	
Ciclul celular	139
Cum și când se divide o entitate vie?	
Clonarea	144
De ce procrearea fără sex ne amenință sănătatea	
Cometele și asteroizii	151
Bulgări de noroi și de zăpadă și verișorii lor pietroși	
Comportamentul primatelor	159
Indicii asupra originilor culturii umane	
Conexiunea cuantică	163
De la enigmatic la bizar și până la folositor	
Conexiuni cerebrale	172
Cum își cunosc conexiunile nervoase destinația?	
Continente și supercontinente	176
Jocul cu colaje de la începuturile lumii	

CUPRINS

Criosfera	182
Calotele glaciare, ghețarii marini și cei montani spun o poveste uimitoare	
Cristale de plasmă	189
Cum poate o forță nou descoperită să dea putere prafului	
Culturile transgenice	195
La bine și la rău, a început un experiment planetar	
Curenții oceanici	202
Un sistem de încălzire centrală planetar	
Cutremurele	208
De ce nu vor fi niciodată prezise cu exactitate sau prevenite	
Descoperirile	215
De ce experții renumiți greșesc de obicei	
Dinozaurii	223
De ce, până la urmă, ce-i micuț e mai drăguț	
Ecologia umană	228
Progresul în afara eco-colonialismului	
Elementele chimice	236
O moștenire a emanației stelare, a gigantelor roșii și a piticilor albe	
El Niño	244
Când o mare caldă agită vremea globală	
Embrionii	249
„Imaginați-vă genele de control ca fiind operatorul unui computer chimic”	
Energia neagră	255
Resursele energetice ale Universului în expansiune accelerată	
Energia și masa	262
Moneda cosmică a celei mai faimoase ecuații a lui Einstein	
Enzimele globale	269
De ce îi fascinează în prezent pe geologi, pe chimiști și pe biologi	

CUPRINS

Evoluția	278
De ce selecția naturală a lui Darwin n-a reușit s-o explice în totalitate?	
Evoluția ecologică	288
Noi perspective asupra variabilității și supraviețuirii speciilor	
Evoluția moleculelor	292
Reabilitarea ereticilor japonezi	
Explozia cambriană	297
Cum au apărut și cum au dispărut apoi unele dintre primele animale	
Exploziile de raze gama	302
Cum se formează zilnic găurile negre	
Exploziile stelare	308
Accidente în traficul galactic și explozii demografice stelare	
Exploziile vulcanice	311
Unde va avea loc următoarea explozie de proporții?	
Extincțiile	318
S-au datorat aproape toate impacturilor cu corpuri cerești?	
Familii de particule	325
Desăvârșirea Modelului Standard al materiei și comportamentul său	
Fenomene glaciare	332
Valuri glaciare datorate schimbărilor climatice bruște	
Fondul de microunde	338
În căutarea unui model pe tapetul cosmic	
Formarea proteinelor	345
De la un dans impresionist la un veritabil film molecular	
Formele proteinelor	349
Așteptând cu nerăbdare să le vedem dansând în ritm de shimmy	
Forța electroslabă	355
Cum și-a redobândit Europa gloria veștejită cu ajutorul fizicii particulelor	
Forțele	362
Indicatoare	

CUPRINS

Fotosinteza	363
Cum crește grădina ta?	
Fullerene și nanotuburi	370
Realizări mărețe cu resurse infime	
Galaxiile	379
În căutarea laptelui lunonei prin universul tânăr	
Găurile negre	383
Extraordinarele motoare ale quasarilor și ale galaxiilor active	
Genele	392
Cuvinte de înțelepciune ale strămoșilor noștri, în patru culori	
Gene preistorice	400
Cum pot fi deosebiți negustorii de coloniști	
Genomuri	408
Istoria vieții într-un cod chimic	
Genomul uman	416
Industrializarea biologiei fundamentale	
Gramatica	424
Între calculatoare și stăpânirea lumii	
Gravitația	430
A avut dreptate unchiul Albert?	
Haosul	440
Fluturile contra buburuză și Efectul Mercur	
Imagini cerebrale	448
Semnificația filmelor în culori vii	
Imortalitatea	454
Ar trebui să ne mulțumim cu 100 de ani?	
Impacturile	460
Consecințe fizice ale coliziunilor cu comete și asteroizi	
Inundațiile bazaltice	467
Ar putea impacturile cu comete să mute continentele?	

CUPRINS

Înflorirea	473
Variațiuni colorate pe tema căilor genetice	
Limbajele	478
De ce moda în exprimare este lansată de femei	
Lumina Pământului	484
Norii strălucitori anunță schimbarea climei și poate chiar o determină	
Mamiferele	491
Pe urmele mamiferelor într-o lume a continentelor în derivă	
Mașinile timpului	497
Cea mai importantă întrebare a fizicii contemporane?	
Materiale amorfe	500
Minunile solidelor neordonate și ale lichidelor ordonate	
Materia	503
Indicatoare	
Materia neagră	504
O rafală de timizi sau conspirația unor macho?	
Memoria	510
Descoperirea chimiei memorării și uitării	
Minerale în spațiu	517
De la praf stelar la cristale și pietre	
Mișcările plăcilor tectonice	521
Un mecanism stâncos remodelează scoarța terestră	
Moartea celulelor	530
Suicidul ca parte integrantă a evoluției	
Molecule în spațiu	534
Chimie exotică printre stele	
Monștrii optimiști	540
Prevestirea unei revoluții în evoluție	
Nucleul solar	549
Cum a devenit transparentă steaua noastră mamă, datorită undelor sonore	

CUPRINS

Originea umană	558
De ce majoritatea acestor resturi fosile aparțin stră-mătușilor?	
Originea vieții	566
Răspunsul la ghicitoare va veni din spațiu?	
Origini	573
Indicatoare	
Oscilații neutrinice	574
Particulele fantomatice se joacă de-a v-ați ascunselea	
Parteneri moleculari	581
Procese naturale fac munca chimiștilor	
Pământul	585
De este el atât de diferit de toate celelalte planete ale Soarelui?	
Planetele	594
Indicatoare	
Prădători	595
Vino înapoi Brer Wolf, totul e dat uitării	
Prioni	599
De la canibali și vaci nebune la noi tipuri de ereditate și de evoluție	
Proteome	605
Corpul de balet molecular al ființelor vii	
Radiația cosmică	612
De unde provin cele mai energice particule?	
Relativitate	617
Indicatoare	
Ritmurile cerebrale	618
Matematica ritmului în care gândim	
Scara lui Bernal	624
Indicatoare	
Schimbări climatice	626
Vom sfârși congelați sau fripți?	

CUPRINS

Sistemul imunitar	634
Ce sunt eu, ce ești tu și ce un virus dăunător?	
Sistemul Pământului	644
Indicatoare	
Sparticule	646
Fantastica superlume a materiei și a forțelor exotice	
Stelele	651
Despre muzică și distanțe	
Stele neutronice	657
Ceasuri care ticăie pe cer, și umbrele lor silențioase	
Supa de quarci	663
Recrearea unei lumi fără protoni	
Superatomi, suprafluide și supraconductoare	666
Marșul trupelor de bosoni	
Supercorzile	672
În rezonanță cu imaginația cosmică	
Traficul celular	679
Coduri zip, pietre pentru a păși și recunoașterea complexității vieții	
Undele gravitaționale	684
Universul cutremurat de știri cu „greutate”	
Universul	688
„Trebuia să se fi știut că venim”	
Variola	697
Binecuvântarea lăptăresei și blestemul generalului	
Vântul solar	701
Cum generează acesta heliosfera în care trăim	
Viața extraterestră	710
Suntem singuri în Calea Lactee?	
Vorbirea	719
O genă care ne face mai elocvenți decât cimpanzeii	

CUPRINS

Vremea spațială	726
De ce acum este mai turbulentă decât în trecut?	
Zone fierbinți	735
Există într-adevăr hornuri în adâncul Pământului?	
Sursele citatelor	741
Index de nume	768
Index de subiecte	777



INTRODUCERE

Bine ați venit pe pânza de păianjen!

E SEURI ar fi un termen mult prea pretențios, implicând concluzii la care știința, slavă Domnului, nu va ajunge niciodată. În această carte veți găsi o serie de povestiri despre cercetările fundamentale recente și actuale, și direcția în care ele par a se îndrepta. În cea mai mare parte, acestea sunt scrise la timpul trecut, indicând prin aceasta că domeniul cercetării ne rezervă încă multe surprize.

Povestirile sunt ordonate alfabetic după titlu, dar vă rog să nu confundați această carte cu o enciclopedie. Titlurile vă invită să aflați câte ceva despre subiectele indicate. Am ales să le ordonez alfabetic pentru a vă ușura navigarea pe pânza de păianjen a conexiunilor dintre subiecte. Cartea poate fi citită în orice ordine, de la început la sfârșit, la întâmplare sau interactiv, începând de oriunde și continuând apoi cu una dintre referințele de la sfârșitul capitolului, la alegere.

Sistemul pânzei de păianjen reprezintă mecanismul ascuns al acestei cărți. El sărbătorește reuniunea multiplelor subdiviziuni ale științei, care se desfășoară chiar acum. Haideți să ne întoarcem în lumea mentală de acum 200 de ani, înainte ca specializarea mult prea îngustă să compromită cultura științifică. În acele zile era firesc ca o persoană relativ iluminată să cunoască nu doar termenii tehnici, ci chiar aspecte intelectuale referitoare la atomi, stele, fosile, climă și destinația rândunicilor pe timp de iarnă.

Diferența este că acum puteți înțelege mai bine stelele dacă aveți cunoștințe despre atomi și invers. La fel se întâmplă și cu fosilele și cu clima. Toate sunt interconectate, nu prin holism sentimental, ci prin procese fizice și chimice care reassemblează gradat scheletul Mamei Natura (precum în cântecul afro-american gospel-spiritual *Dem Dry Bones*, în care oasele scheletului se legau între ele și erau aduse la viață de către profetul Ezechiel, prin invocarea Cuvântului lui Dumnezeu). Numai prin studii interdisciplinare vom putea afla cum știe o rândunică încotro să migreze când vine iarna sau vom putea rezolva multiple alte mistere care nu se revelează ușor.

Magia Universului se dezvăluie prin interconexiuni. Un repertoriu de scamatorii declanșate în timpul Big Bang-ului poate crea pentru noi o planetă sau un micuț papagal. Într-un sens vag înțeles până în prezent, magia universală lucrează în beneficiul nostru în general, uimindu-ne și intrigându-ne în același timp în

aspectele ei particulare. Fenomenele naturale care leagă cometele cu viața, genurile cu deriva continentală, minereul de fier cu demența și fizica particulelor cu nebulozitatea joacă feste specialiștilor.

A vorbi despre competență în întreaga știință este o contradicție. Dar generaliști există. Unii dintre ei își câștigă existența în instituții și agenții multidisciplinare. Alții se mențin detașați și relatează despre toate aspectele științei în ziare, reviste și cărți cu benzi desenate, la radio, la televizor, în filme sau pe Internet, la expoziții sau în cărți.

Autorul acestei cărți are o experiență în mass-media de o jumătate de secol. În 1953, pe când era student la Cambridge, a avut prima experiență jurnalistică. El i-a vândut un pont tatălui său, editor științific al unui cotidian londonez, despre un zvon care circula în King's Parade, referitor la doi cercetători de la laboratorul Cavendish care ar fi descoperit forma genelor.

Vârsta poate încetini viteza cu care scriem, dar a fi la curent o viață întreagă cu cele mai recente cercetări și descoperiri oferă certe avantaje. Devii reticent la înșelătorie, la dogmatism și la „profesorii acoperiți de iederă în sălile acoperite de iederă” din cântecul lui Tom Lehrer despre o studenție idilică. Din proprie experiență, știi că descoperirile cele mai senzaționale se furișează aproape nebăgate în seamă. Mai presus de toate, descoperi că partea cea mai bună din știință este emoționantă într-un mod romantic și iluminatoare – și atunci de ce să-i deranjăm cu orice nu este astfel pe cititorii ocupați?

De asemenea, independența ajută. Autorul acestei cărți nu este legat de niciun subiect, mediu sau instituție în mod particular. Ramuri întregi ale științei pot să apară și să dispară, dar autorul acestei cărți cu siguranță nu va rămâne fără resurse. Fiind liber să ignore granițele naționale, el poate nesocoti părerea editorilor de știri că descoperirile științifice se produc doar în propria țară sau în Statele Unite.

Scopul de a da cărții o viață rezonabil de lungă în rafturile librăriilor, ca ghid prin știința modernă, impune o anumită disciplină. Autorul trebuie să ia în considerare dacă ceea ce scrie acum va părea rațional sau stupid peste zece ani. Modul cel mai sigur de a scurta viața cărții ar fi acela de a prezenta numai opinii unanim acceptate la sfârșitul secolului al 20-lea. Aproape la fel de fatală i-ar fi și vânătoria de emoții efemere sau de capricii contemporane cu momentul scrierii ei. În loc de acestea, strategia constă în a identifica unele corecturi importante care au modificat traiectoria cercetărilor în secolul al 21-lea.

Rezultatul este subiectiv, desigur, ca tot ceea ce s-a scris despre știință. Chiar și alegerea unui subiect în defavoarea altuia exprimă un prejudiciu. Mai mult decât atât, ecuațiile logicii, simplității și ale corectitudinii față de toată lumea sunt imposibil de rezolvat simultan. Așadar, corectitudinea primează. Pentru fiecare subiect, opinie și pentru fiecare personalitate menționate aș fi putut alege altele, dar nu am făcut-o. Dacă observați că lipsește ceva, întrebați-vă, așa cum a trebuit s-o facă și autorul, ce ați fi exclus pentru a putea introduce acel subiect.

Aspectele care ar fi putut fi incluse, și care se suprapun cu multe alte subiecte, au devenit, în câteva cazuri, referințe. Aranjând trimiterile la referințe într-o ordine logică, aceste scurte articole ajută la clarificarea povestirilor mai complicate și furnizează legăturile necesare în păienjenișul subiectelor. O excepție sunt referințele care ordonează unele descoperiri descrise în carte pe scara lui Bernal, după criteriul de acceptabilitate în știință. Considerați-o ca pe un ornament secundar.

● Note despre afilierii

Mai ales în ziua de astăzi, când cele mai multe articole științifice au mai mulți autori, o carte corectă ar fi citită precum o carte de telefon. Pentru a evita confuziile, afilierile sunt indicate minimal, de exemplu folosind „la Oxford” sau „la Sydney” (și nu „în”) ca o prescurtare pentru expresiile „la Universitatea din Oxford” sau „la Universitatea din Sydney”. UC înseamnă Universitatea din California, iar Caltech este Institutul de Tehnologie din California. Institutele sunt menționate în limba lor națională¹, excepție făcând limbile noneuropene și unele cazuri speciale când instituțiile preferă să fie numite în limba engleză. Dintre acestea, Observatorul din Leiden și Universitatea de Tehnologie din Delft îmi vin în minte acum.

- *Pentru informații despre punctul de vedere al autorului despre știință ca mod de viață, vezi capitolul **DESCOPERIRI**. Pentru misterul încă nedezlegat al migrației păsărilor, vezi ultima parte a capitolului **CEASURI BIOLOGICE**. Pentru informații despre începutul biocosmologiei, vezi capitolul **UNIVERSUL** și trimiterile la alte referințe.*

¹ În ediția în limba română am tradus denumirile instituțiilor în limba română, cu unele excepții ale unor colegii renumite din Marea Britanie și din Franța (n. trad.).



ALCOOLUL

Revelații genetice despre drojdia de bere

N -O SĂ REALIZEZI NIMIC CU ASTA", astfel i s-a adresat consiliul științific al laboratorului de chimie organică din München lui Eduard Buchner, în 1893. Tânărul lector dorea să descompună celulele drojdiei de bere pentru a afla ce conțin acestea. În această direcție, lipsa de interes și de sprijin a autorităților în domeniu a triumfat mai mulți ani. Însă când Hans Buchner a devenit membru în consiliul de conducere al Institutului de Igienă din München, a sprijinit proiectul fratelui său mai mic referitor la drojdie. Astfel s-a născut biochimia, dintr-un nepotism fățiș.

Pe vremea aceea se spera că viața ar putea fi explicată folosind numai cunoștințele de chimie, fără ajutorul vreunei forțe speciale. Dar reacțiile specifice materiei vii n-au fost niciodată observate la materia neînsuflețită. În 1897, Buchner a separat din celulele drojdiei de bere un element care transforma zahărul în dioxid de carbon. El descoperea astfel prima enzimă, un catalizator natural care accelerează reacțiile chimice.

Și acum să derulăm rapid timpul până în secolul al 21-lea. Astăzi se cunosc mii de enzime. Acestea sunt molecule proteice produse în conformitate cu anumite instrucțiuni precise provenite de la gene, fiecare având o funcție specifică în organismele din care fac parte. Fermentația zahărului din care rezultă alcoolul etilic, cel care poate fi băut, necesită adevărate „linii de producție” în celulele de drojdie, alcătuite din enzime diferite care operează succesiv.

Biologia moleculară și capacitatea ei de a identifica gene similare în organisme diferite au condus la o viziune uluitoare a chimiei organice. Micile variații de la o specie la alta – din aceeași genă și din enzima asociată – relevă o istorie evolutivă. Citirea la scară largă a tuturor genelor unei specii – genomul –, în cazul unui număr tot mai mare de specii, accelerează analiza. Din cercetările asupra datării în timp și a felului în care drojdia a căpătat abilitatea de a produce alcool vor rezulta multe informații privind evoluția vieții.

Este posibil ca acum aproximativ 80 de milioane de ani, giganzii dinozauri erbivori să-și fi epuizat sursa de hrană vegetală. Acest imbold – dispariția vegetației existente atunci –, sugerează vânătorii de fosile, se află la baza inovației evolutive a fructelor, la plantele cu flori. Fructele stimulau animalele să le poarte semințele, în

traiectul lor digestiv, spre noi areale. O parte a acestei stimulări se datorează gustului dulce și plin de energie al fructelor, gust dat de conținutul de zahăr al acestora.

În acest joc dintre plante și animalele uriașe au intervenit și celulele de drojdie. Prea mici ca să atace fructele sănătoase, ele le-au putut invada pe cele lovite, făcându-le să putrezească. Și musculițele de fructe, strămoși ai *Drosophilei*, cea îndrăgită de geneticieni, s-au alăturat distracției, specializându-se în depunerea ouălor în fructele stricate. Cea mai importantă parte din hrana larvei musculiței nu era fructul, ci drojdia.

Din fericire, planta cu flori, drojdia și *Drosophila* au fost printre primele organisme al căror genom a fost descifrat în totalitate. Steven Benner, chimist la Universitatea din Florida, și colegii săi au atras atenția asupra studiului comparativ al genomurilor în cadrul evoluției speciilor care interacționează între ele, fiind asociate cu apariția fructelor. Rezultatele de la nivel molecular au fost spectaculoase.

Resursele genetice necesare pentru adaptare la noul mod de viață, cu ajutorul fructelor, erau genele de rezervă, apărute prin duplicarea genelor originale. Acestea puteau apoi să încerce producția de noi enzime, fără a priva organismele de enzimele deja utilizate. Genomurile plantelor cu flori și cele ale musculițelor de fructe indică amândouă o evoluție explozivă a mecanismului de duplicare a genelor, ce a apărut în urmă cu aproximativ 80 de milioane de ani. Acest fenomen s-a petrecut simultan și la genomul drojdiei de bere.

Printre enzimele noi, apărute în drojdie în acea epocă, se aflau chiar acele enzime necesare pentru a finaliza procesul de producere a alcoolului etilic din moleculele de zahăr descompuse. Piruvat-decarboxilaza elimină o moleculă de dioxid de carbon, producând apariția bulelor de gaz. Alcool-dehidrogenaza încheie procesul producerii alcoolului etilic, catalizând legarea atomilor de hidrogen de un atom de oxigen și de unul de carbon.

„Generații întregi de studenți la biochimie au fost nevoite să învețe pe de rost etapele procesului care transformă glucoza în alcool, ca și cum acesta ar fi fost scris de către un supraveghetor anost și nu de către Mama Natură”, comenta Benner. „Acum putem să-i ademenim cu aventurile genetice ale drojdiei într-un mediu planetar care se schimbă foarte rapid.”

Studiile indică faptul că alcoolul a apărut în mod natural cu circa 15 milioane de ani înainte de sfârșitul epocii reptilelor uriașe. Printre animalele din zilele noastre cărora nu le displace starea de amețală provocată de fructele fermentate se numără elefanții, maimuțele, dar și ființele umane care folosesc industrial proprietățile drojdiei. Ca o primă concluzie a studiului genomurilor, s-ar putea adăuga listei și niște dinozauri turmentați.

- Pentru mai multe informații despre rolul enzimelor în istoria vieții, vezi ENZIMELE GLOBALE. Referitor la duplicarea genelor, vezi EVOLUȚIA MOLECULELOR. Pentru informații generale, vezi GENOMURI ȘI PROTEOME.



ALTRUIISM ȘI AGRESIVITATE

În căutarea originilor alternativelor umane

LA SFÂRȘITUL secolului al 19-lea, Piotr Kropotkin, un prinț rus devenit anarhist, a ajuns în Anglia. Ca și comunistul Karl Marx, el și-a găsit refugiu într-o societate atât de disprețuitoare în ceea ce privește teoriile sociale încât oricine care nu încălca legea era tolerat. A găsit țara gazdă discutând aprins noi idei științifice, mai ales pe cea a lui Charles Darwin despre evoluția și comportamentul uman. Iar britanicii i-au oferit exemplul său favorit de anarhie în acțiune.

În cartea sa *Ajutorul reciproc: un factor al evoluției* (1902), Kropotkin își expunea teoria că oamenii sunt, în general și prin natura lor, virtuozii și se ajută reciproc, astfel încât nu au nevoie să fie conduși de către politicieni. În spiritul lui Darwin, el a menționat anticipări ale comportamentului altruist la animalele pe care le observase în timpul călătoriilor sale prin pustietățile siberiene. Dar ce se putea spune despre ajutorul reciproc între oameni?

„Asociația Lifeboat din această țară”, scria Kropotkin, „și alte instituții similare de pe continent, trebuie menționate în primul rând. Această asociație are acum peste 300 de bărci de-a lungul coastelor acestor insule și numărul lor ar fi fost dublu dacă pescarii n-ar fi fost atât de săraci încât să nu-și poată permite să cumpere bărci de salvare. Echipajele sunt constituite din voluntari, a căror determinare de a-și sacrifica viața pentru salvarea unor străini este testată în mod dur în fiecare an; în fiecare iarnă este înregistrată pierderea mai multora dintre cei mai curajoși”.

În zilele noastre, această asociație se numește „Royal National Lifeboat Institution”, dar adjectivele sunt onorifice și nu administrative. Deși oamenii care participă la strângerea de fonduri ar putea fi șocați la gândul că ei susțin astfel o organizație anarhistă, Kropotkin nu s-a înșelat. Comanda și controlul sunt descentralizate față de comunitățile locale, care pun la dispoziție mâna de lucru, iar fondurile provin din donații publice naționale, fără nicio contribuție din partea statului.

Chiar și o barcă de salvare cu o tehnologie de ultimă oră se poate pierde uneori, atunci când navighează fără oprire printr-o furtună puternică, lăsând câte un sat fără unii dintre cei mai buni tineri ai săi. Pe de altă parte, se înregistrează și faptele unor tineri necunoscuți, care comit așa-zise „purificări” etnice sau alte

orori. Prin urmare, ne putem întreba: Sunt oare ființele umane în general, în mod natural, rele sau bune, agresive sau altruiste?

Opoziția dintre păcatul originar și puritatea originară este una dintre cele mai vechi întrebări din filozofia morală și, mai recent, din psihologia socială. În ceea ce privește această problemă apar alte mari întrebări. Care este rolul genelor, respectiv al educației, în formarea comportamentului uman în această privință? Sunt criminalii pe deplin responsabili pentru acțiunile lor?

● Klee contra Kandinsky

Știința a dezlegat o parte din aceste probleme. Contribuțiile provin din studii despre comportamentul animalelor, teoria evoluției, psihologia socială, științe politice și criminologie. Moștenirea cea mai de seamă a științei secolului al 20-lea implică o schimbare de accent de la comportamentul individual la cel specific ființelor umane aparținând unor grupuri.

Sigmund Freud și discipolii săi au încercat să explice agresivitatea umană ca fiind o trăsătură individuală înăscută, ca și cum un război mondial ar fi doar o încăierare de bar la o scară mai mare, iar soldatul – o persoană cam răutăcioasă. Alte teorii au susținut că războaiele au la bază patologia mulțimilor, pasionale și iraționale, comportându-se ca o turmă dezlănțuită. Dar un pluton care avansează cu baionetele la armă, gata de a ucide, nu reprezintă, în mod categoric, o hoardă nedisciplinată.

Henri Tajfel, un specialist în psihologie socială, originar din Franța, care lucrează la Bristol, nu a fost mulțumit de interpretările date agresivității de către psihologia indivizilor sau a mulțimilor. La începutul anilor 1970, el a realizat un experiment cunoscut sub numele de Klee-Kandinsky, având ca subiecți mai mulți băieți de 14–15 ani, colegi de clasă. El a demonstrat că se poate modifica comportamentul băieților prin simpla apartenență la anumite grupuri.

Tajfel le-a arătat băieților o serie de diapozitive cu picturi de Paul Klee și Wassily Kandinsky, fără a le preciza autorul fiecărei picturi, iar apoi le-a cerut acestora să-și scrie preferințele. Apoi, fără a ține cont de răspunsurile lor, Tajfel a spus fiecărui băiat în parte că aparținea fie grupului Klee, fie grupului Kandinsky. El nu i-a dezvăluit pe ceilalți membri ai grupului respectiv, nici caracteristicile acestuia, ci doar numele grupului.

Nu s-a spus și nu s-a făcut nimic de natură să încurajeze sentimente de vreun fel și nici rivalități. Următoarea etapă a experimentului a fost recompensarea cu bani a băieților, pentru că au participat la acest experiment. Au fost rugați să noteze suma pe care considera că merită să o primească fiecare dintre ei, cunoscând doar că destinatarul făcea sau nu parte din același grup.

Existau opțiuni prin care se putea maximiza profitul ambelor grupuri sau profitul unui singur grup, fără a se ține cont de celălalt grup. Niciuna dintre aceste posibilități n-a fost la fel de atractivă ca opțiunile care duceau la diferența cea

mai mare de recompensă în favoarea membrilor propriului grup. Cu alte cuvinte, băieții au preferat să se întoarcă acasă cu mai puțini bani doar pentru satisfacția de a umili celălalt grup.

Prin acest experiment și altele similare, Tajfel a demonstrat o trăsătură generală a comportamentului de grup. Aceasta diferă de psihologia variabilă a indivizilor, exceptând definiția identității sociale a persoanei. În afară de capacitatea noastră de a ne alătura foarte ușor unei echipe, așa cum arăta Tajfel, mai există și o contradicție penibilă care stă la baza vieții sociale. Cele mai mari realizări ale umanității au la bază munca în echipă, care, la rândul ei, se bazează pe loialitatea față de membrii echipei și mândria apartenenței la aceasta. Cei din afara grupului sunt în cel mai bun caz desconsiderați sau, și mai rău, inamici demni de dispreț.

„Această discriminare nu are nicio legătură cu interesele individului care face discriminarea”, afirma Tajfel. „Dar trebuie luate în considerare toate aspectele apartenenței la un grup, atât cele pozitive, cât și cele negative. Cele pozitive implică desigur loialitatea individului față de grupul căruia îi aparține și valoarea pe care i-o oferă apartenența la grup, în timp ce aspectele negative ne sunt cunoscute sub forma războaielor, revoltelor și a prejudecăților rasiale sau de altă natură.”

● Bunătatea în familie

O multime de best-selleruri apărute la mijlocul secolului al 20-lea deplâneau faptul că ființele umane au „evoluat” în sensul de a deveni mai ales ucigașii propriilor semeni. Cea mai autoritară a fost lucrarea *On Agression (Despre agresiune)* (1960) scrisă de Konrad Lorenz, un cunoscut etolog austriac. El a afirmat că ființele umane nu respectă restricțiile care se manifestă la alte animale, în cazul cărora lupta dintre indivizi ai aceleiași specii este mai degrabă un ritual, pentru a se evita rănirea serioasă sau moartea adversarului. Lorenz credea că motivul îl constituie faptul că strămoșii noștri au fost relativ inofensivi până în momentul inventării primelor arme, cum ar fi securea, dar evoluția nu a avut timp să producă inhibiții în ceea ce privește omuciderea.

Această teorie a fost foarte convingătoare, dar complet eronată. Oamenii de știință pur și simplu n-au studiat îndeajuns animalele sălbatice pentru a le observa ucigându-se între ele. Leii, hienele, hipopotamii și diferite specii de maimuțe și păsări își omoară semenii mult mai des decât o fac ființele umane. „Am fost impresionat”, scria zoologul Edward Wilson de la Harvard, în 1975, „de cât de des apare un asemenea comportament atunci când timpul de observare alocat unei specii depășește o mie de ore”.

Mărturiile etnografice relatează despre grupuri umane care practică războiul ritualic care diminuează numărul victimelor. Spre exemplu, populația de pe insula Trobriand din Papua – Noua Guinee a militarizat clasicul joc englezesc de cricket. Satele în conflict își trimit echipele îmbrăcate și pictate ca pentru un război din neolitic, se execută dansuri de război, iar în momentul în care un

participant iese din joc, acesta este considerat mort. Rezultatul jocului nu are nicio legătură cu scorul propriu-zis, el se decide diplomatic. Cu alte cuvinte, echipa gazdă câștigă întotdeauna.

Explicația lui Lorenz nu mai era valabilă. Când scopul înfruntării este transmiterea propriilor gene, lupta și uciderea, în special între rivali de sex masculin, sunt ușor de explicat din punct de vedere evolutiv. Totuși, ființele umane nu numai că sunt mai puțin violente în cadrul speciei lor decât alte animale, dar și reușesc să fie în general mult mai pașnice decât orice alt grup cunoscut de mamifere, când trăiesc în grup, așa cum se întâmplă în orașele mari.

Primul pas în direcția dezlegării acestei enigme a fost făcut la Londra în 1963 de către un tânăr teoretician evoluționist, William Hamilton. El a lărgit sfera selecției naturale a lui Darwin pentru a arăta felul în care un animal poate încuraja transmiterea propriilor gene, atunci când contribuie la supraviețuirea rudelor care poartă o parte din aceleași gene. Genele care favorizează asemenea comportamente altruiste față de rude pot evolua și se pot răspândi în cadrul unei populații.

Astfel, Hamilton a extins noțiunea lui Darwin de supraviețuire a celui mai adaptat la ceea ce el numea „adaptare globală” a unei familii extinse ca un tot unitar. Lucrările sale referitoare la acest aspect au ajuns să fie considerate cea mai mare realizare în domeniu în secolul de după Darwin. Un teoretician evoluționist îl descria mai târziu pe Hamilton ca pe „singurul geniu adevărat pe care l-am avut”, deși prima lui lucrare publicată, „Evoluția comportamentului altruist”, nu a avut prea mare succes.

„La prima mea încercare de publicare, în revista *Nature*, articolul meu a fost refuzat, returnându-mi-se prin poștă”, își amintea mai târziu Hamilton, adăugând între paranteze „Probabil că adresa mea, «Departamentul de Sociologie, LSE», nu satisfacea pretențiile lor”. LSE este abrevierea pentru prestigioasa Școală de Economie din Londra (London School of Economics), deși Hamilton și-a desfășurat cea mai mare parte a activității la Colegiul Imperial Londonez (Imperial College London), instituție care trebuie să fi fost mult mai demnă de respect pentru un editor de științe naturale. În cele din urmă, faimosul articol a apărut în *American Naturalist*.

Teoria lui Hamilton indica faptul că evoluția ar fi trebuit să favorizeze mai mult tribalismul agresiv asociat cu cruzimea. Autorul ei a abordat o viziune pesimistă, sugerând că războiul, sclavia și teroarea au origini evoluționiste. Hamilton afirma că „animalul din noi nu poate fi un custode potrivit al valorilor omului civilizat”.

● Demascarea înșelătorilor

Totuși, altruismul în cadrul familiei nu reprezintă întregul adevăr. Așa cum accentua Kropotkin, echipajele bărcilor de salvare își riscă viețile pentru a salva niște străini. Pentru a avansa cu încă un pas față de teoria lui Darwin, era oare

posibilă extinderea teoriei lui Hamilton cu privire la adaptarea globală la exemplarele din afara familiei?

Un alt tânăr savant de la Harvard, Robert Trivers, a găsit modalitatea. Lucrarea sa clasică, „*Evoluția altruismului reciproc*”, a apărut în 1971. Conform matematicii sale evoluționiste, noi suntem buni cu semenii noștri din motive fundamentale egoiste. Dacă nu te arunci într-un râu pentru a salva un om de la înec, care astfel supraviețuiește, nici el nu-și va risca viața pentru tine în viitor. Sistemul altruismului reciproc depinde de amintirile de lungă durată, mai ales ale chipurilor și evenimentelor, pe care ființele umane le păstrează.

„Există o tensiune continuă”, comenta Trivers, „între egoismul direct și cel indirect, idealizat, pe termen lung, al altruismului reciproc. Unii dintre studenții mei nu sunt de acord cu afirmația mea că tendințele noastre altruiste au evoluat la fel ca oricare alte caracteristici ale noastre. Le-ar plăcea ca eu să acord mai mult credit idealurilor lor nobile. Dar cred că până și această reacție poate fi explicată de teoria mea. Tuturor ne-ar plăcea să fim percepuți ca persoane altruiste și ne repugnă ideea de a fi priviți drept persoane egoiste”.

După părerea lui Trivers, o mică introspecție dezvăluie emoții furnizate de evoluție pentru a consolida comportamentul altruist: sentimente de simpatie față de faptele bune și de furie la detectarea înșelăciunii, chiar dacă nu suntem direct afectați; mânie la adresa unei persoane care nu stă la rând, care este cel mai adesea un răspuns emoțional disproporționat în raport cu întârzierea provocată.

Dacă cineva ne surprinde comportându-ne urât, vor ieși la iveală sentimente de vinovăție și stânjeneală, iar numai gândul la un asemenea efect te va face să rămâi cinstit. Dar mai trebuie luat în considerare și un alt element. Cântărim ajutorul corespunzător în funcție de promisiunea unei alte persoane și de cât de ușor putem noi ajuta. Dimpotrivă, gratitudinea nu trebuie să meargă mai departe de recunoașterea ajutorului primit și a efortului depus în acest sens.

Mai mult, există o continuă tentație de a înșela, pentru că oamenii buni sunt ușor de păcălit. Shakespeare a spus acest lucru foarte succint, făcându-l pe Hamlet să-și noteze în jurnal că „Cineva poate să zâmbească, și zâmbind să fie un ticălos!”. Cum a putut evolua altruismul când înșelăciunea își are propriile recompense, fie ele regatul Danemarcei sau o călătorie gratuită cu autobuzul?

În teoria jocurilor, „dilema prizonierului” simulează alegerea dintre cooperare și trădare. Acest joc oferă recompense mici și stabile în condițiile în care ambii jucători cooperează și îi pedepsește simultan pe amândoi dacă renunță la a coopera. Cel mai mare câștig este obținut de cel mai abil – acela care renunță în momentul în care partenerul continuă să coopereze, acesta din urmă fiind astfel păcălit.

În anii 1978–1979, Robert Axelrod de la Universitatea Ann Arbor din Michigan, un specialist în științe politice cu gândire de matematician, a condus mai multe competiții de „dilema prizonierului”, la care au participat peste 60 de jucători din șase țări. La început, jucătorii erau teoreticieni ai jocului din domeniile economiei,

sociologiei, matematicii și științelor politice. Ulterior, acestora li s-au alăturat biologi, fizicieni, și informaticieni profesioniști sau amatori.

Jucătorii s-au folosit de diverse strategii, dar cea care asigura victoria părea să fie străvechea „ochi pentru ochi și dinte pentru dinte”. Oferi cooperarea până în momentul în care celălalt renunță. Apoi îți iei revanșa, o singură dată, prin propria renunțare. Următorul pas este iertarea imediată și reluarea cooperării.

În 1981, Axelrod și Hamilton au scris o lucrare de biologie în care afirmau că strategia „dinte pentru dinte” sau altele similare au putut evolua în regnul animal și supraviețui chiar și în condițiile existenței unor indivizi care renunță adeseori. Axelrod și Hamilton au spus atunci că „roțile dințate ale evoluției sociale au o piedică”.

Comportamentul de cooperare cuplat cu controlul reciproc al agresivității a devenit o nouă direcție în cercetare atât în biologie, cât și în științele politice. În concordanță cu convingerea lui Kropotkin că rădăcinile evoluționiste ale ajutorului reciproc ar trebui să fie evidente la animale, observațiile și experimentele realizate pe o mare varietate de specii au detectat altruismul reciproc în acțiune și au confirmat faptul că „dinte pentru dinte” este o strategie valabilă în viața reală.

Subiecții unui astfel de experiment, realizat de Michael Lombardo de la Universitatea Rutgers în 1985, au fost trei rândunici din specia *Tachycineta bicolor*. Acesta a simulat atacarea cuiburilor de către exemplare fără pui din aceeași specie, substituind puii vii cu pui morți și plasând în depărtare manechine de păsări din aceeași specie pe post de vinovați. După ce au descoperit crima, păsările-părinți au atacat manechinele, însă nu și-au modificat comportamentul prietenos față de celelalte păsări din colonie.

Utilizările inițiale ale modelului „dinte pentru dinte” în comportamentul uman s-au referit pe de o parte la încălcările de contracte și la problemele legate de custodia copiilor și, pe de altă parte, la regulile comerțului internațional și la negocierile dintre Statele Unite și Uniunea Sovietică de la sfârșitul războiului rece. Istoria militară a secolului al 19-lea pare să confirme ideea că agresiunea poate fi mai repede evitată atunci când se reacționează prompt.

Unul din punctele slabe ale strategiei inițiale „dinte pentru dinte” l-a constituit faptul că greșelile comise de jucători puteau influența în mod aleator desfășurarea jocului. Axelrod și colegii săi au găsit remedii pentru această problemă. „Dinte pentru dinte cu generozitate” lasă nepedepsiți o parte din dezerteri, în timp ce în „dinte pentru dinte cu caință” un jucător care renunță din întâmplare atrage revanșa fără a se putea revanșa la rândul lui. Cercetările au demonstrat că adăugând generozitate sau caință strategiei „dinte pentru dinte”, aceasta se menține viabilă și robustă.

Printre alte strategii diverse testate ca alternativă pentru metoda „dinte pentru dinte” în cadrul jocului „dilema prizonierului”, s-a evidențiat strategia unui anumit Pavlov. În aceasta, precum în cazul câinelui condiționat de renumitul savant rus

Ivan Pavlov din Leningrad (Sankt Petersburg), se menține rezultatul anterior atâta vreme cât se câștigă, iar în cazul unei pierderi, se schimbă jocul. Aceasta ar putea fi o rețetă de intimidare, declanșată la cea mai neînsemnată ofensă, și continuând până când cineva ne înfruntă cu curaj. Dar nici strategia Pavlov și nici o alta nu a înlocuit „dinte pentru dinte” din poziția ei de strategie cu cele mai mari șanse de reușită, atât în jocuri, cât și în teoria evoluției sau în problemele oamenilor.

● Oameni tridimensionali

„Doar puțini oameni de știință veritabili ar susține că există gene pentru trăsături cum ar fi altruismul”, a remarcat Axelrod. „Ar putea exista gene care joacă un anumit rol, spre exemplu, care ne conferă capacitatea de a ne aminti oamenii pe care i-am întâlnit, dar este aproape sigur că acestea nu operează independent de mediu.”

Astfel, el a încheiat vechea dispută dintre tendințele naturale și educație, în calitate de cauze ale comportamentelor umane. Aceste cauze au fost reanalizate cu mare interes în anii 1970, în căutarea unor noi teorii despre altruism. Adepții entuziaști ai sociobiologiei au afirmat că majoritatea comportamentelor sociale, de la viol și până la religie, vor fi curând înțelese prin prisma geneticii. Adversarii acestor idei au condamnat toate aceste încercări de a considera fundamentul evoluționist al comportamentului ca determinism genetic, orientat spre justificarea și perpetuarea inechităților sociale.

La începutul secolului nostru, aceste confruntări par la fel de desuete ca și Războiul Rozelor. Spre deosebire de preferințele naive pentru genetică (natură) sau mediu (educație) ale generației anterioare, cercetările actuale din domeniul biologiei studiază intens interacțiunile dintre gene și mediu. Acestea se manifestă în mecanismele evoluției, ale dezvoltării embrionare, ale conexiunilor cerebrale, și chiar în răspunsurile ecosistemelor la schimbările biotopului.

Realizările lui Hamilton, Trivers și Axelrod au oferit o explicație convingătoare a modului în care a apărut societatea umană. Interesul propriu iluminat a îmblânzit genele egoiste și imature ale teoriei darwiniste anterioare și a condus la o competență bazată pe colaborare, prin care ființele umane au dobândit într-o mare măsură controlul asupra mediului înconjurător.

După acest succes și datorită complexității vieții sociale, au apărut opțiuni în ceea ce privește mediul educațional. Aici, genele unui individ ar putea sau nu să se dezvolte, ar putea fi deprinse obiceiuri bune sau rele, sau ar putea surveni neglijența și cruzimea. Prin urmare, în mod imperios necesar, ar trebui să ne revizuim neîncetat modul în care avem grijă unii de alții și în special de cei tineri. Dar să ne ferim să înlocuim determinismul genetic sau pe cel de mediu cu un determinism compus din cele două, oricât de bine documentat.

O ciudățenie a studiului comportamentului uman din secolul al 20-lea a constituit-o graba anumitor specialiști de a minimaliza puterea gândului, pe care se bazează însuși procesul cercetării. Nici genele, nici mediul nu pot anteprograma

o persoană să descopere codul genetic sau regulile care guvernează condiționarea psihologică. Și totuși natura subiectivă a gândului și a activității decizionale este privită de mulți ca fiind în afara sferei cercetării științifice.

Declarația lui Francis Collins, liderul Proiectului Genomului Uman, a însemnat încălcarea unui subiect tabu: „Genetica nu este deterministă. Există mediul, care este un factor important, dar există și liberul arbitru, care este și el un aspect important”.

Ceea ce poate fi numit, din comoditate, liber arbitru, cel puțin până în momentul în care fenomenele conștiinței vor fi mai bine înțelese de știință, reprezintă a treia dimensiune a naturii umane. Liberul arbitru nu implică niciun element exterior. Ca și alte aptitudini, precum limbajul, visarea, exercițiile fizice, acesta rezultă din procesele petrecute într-un creier foarte complex. În timp ce filozofii încă dezbăt semnificația corectă a liberului arbitru, specialiștii neurologi se întreabă în ce măsură îl posedă rândunicile.

Genele și mediul social pot cu siguranță să influențeze o persoană să acționeze într-un anume fel. Dar maturizarea implică învățarea controlului predispozițiilor și pasiunilor, utilizând puterea voinței. Alegerea continuă între diversele acțiuni voluntare este implicată în interacțiunile asemănătoare jocului ce însoțesc comportamentul altruist sau agresiv din viața socială umană. Așa cum s-a simulat în „dilema prizonierului”, o persoană poate alege cooperarea sau renunțarea, doar gândindu-se la acest lucru. Dezbaterile politice și alegerile funcționează după presupunerea că atât opiniile cât și politicile se pot modifica, nefiind predeterminate de către gene sau de trecutul social al alegătorilor.

Sistemul de justiție penală pornește de asemenea de la premisa că suntem oameni tridimensionali. Se presupune că toată lumea, exceptând pe cei cu tulburări mintale, face distincția dintre bine și rău și acționează în consecință. În acest context, știința ar trebui să renunțe la inhibiții și să se concentreze asupra individului, pentru a se confrunta cu problema liberului arbitru în lumea reală.

● Problema eliberării condiționate

Psihiatrii și psihologii sunt adesea consultați în privința reintegrării fără riscuri în societate a persoanelor care s-au manifestat violent anterior, după ce acestea au petrecut câțiva ani în închisoare sau într-un spital de boli nervoase. Dacă agresivitatea exprimată printr-un comportament criminal ar fi o simplă problemă de predispoziție genetică sau/și de mediu, ar exista doar o mică șansă pentru căință. Totuși, experiența demonstrează că acest lucru este posibil în multe cazuri.

Datorită numărului mare de deținuți care, în unele țări, depășește 1% din populația adultă, incluzând sute de condamnați pe viață, există motive economice și umanitare de a încerca să faci să funcționeze eliberarea condiționată. Dar, practic, aceasta este o problemă de încredere. Numărul mare de victime ale crimelor și violențelor comise de condamnați eliberați sau de pacienți dereglați mintal demonstrează că evaluările sunt departe de a fi perfecte.

Experiența belgiană ilustrează aceste dificultăți. În anii 1970, Jean-Pierre De Waele de la Universitatea Liberă din Bruxelles, psihiatru coordonator de proiect, a combinat cercetările academice de psihologie cu necesitățile practice din interiorul închisorii al cărei psihiatru-șef era. El s-a specializat în studiul asasinilor candidați la eliberarea condiționată.

O parte din munca sa a constat în a le cere subiecților să își scrie autobiografia și să o discute cu anchetatorii. Aceasta avea drept scop să se descopere în mod exact de ce a fost comisă crima și dacă circumstanțele respective s-ar putea ivi din nou. În concepția lui De Waele, mintea fiecărei persoane constituia un nou univers de explorat, cu orice fel de telescoape disponibile.

El a testat de asemenea și capacitatea de autocontrol a criminalilor. Pentru aceasta, i-a supus stresului într-un mediu experimental, dându-le sarcini practice imposibil de realizat. Testele au durat ore în șir. Cu șiretenia specifică psihologilor, experimentatorii au lăsat prizonierii să creadă că reușita sarcinii respective le-ar spori șansele de a fi eliberați. Pentru a le accentua exasperarea și pentru a identifica astfel momentul în care izbucnește furia, liderul experimentului le spunea: „Nu vă faceți griji, putem să continuăm și mâine”.

Deoarece erau foarte laborioase, examinările individuale ale candidaților la eliberare condiționată s-au întins pe parcursul a mai mult de un an. La acea vreme, aceasta însemna unul dintre cele mai mari eforturi din lume, depuse în scopul de a oferi o bază științifică criminologiei cognitive. Totuși, două decenii mai târziu, în 1996, sistemul eliberării condiționate din Belgia a explodat sub presiunea mâniei publice, după ce un pedofil eliberat a răpit și a ucis mai mulți copii.

Multitudinea teoriilor existente în criminologia cognitivă, cea comportamentală și cea socială ar putea fi doar un simptom al unei științe aflate încă la începuturi. Dar a treia dimensiune a ființelor umane, numită provizoriu liber arbitru, esențială pentru o înțelegere completă a comportamentului altruist sau agresiv, este profundă și complexă. Este, de asemenea, foarte variabilă de la o persoană la alta. Probabil că nu se poate explica printr-o unică teorie generalizatoare.

S-ar putea să existe o paralelă cu cosmologia, domeniu în care, în prezent, astronomii sunt atrași de ideea posibilei existențe a mai multor universuri în care legile fizice sunt diferite. Într-un raport pentru Serviciul de Eliberare Condiționată din Marea Britanie, din anul 2000, James McGuire, un medic psiholog din Liverpool, a scris despre necesitatea existenței psihologilor experimentalisti. Parafrazându-l pe De Waele, acesta a declarat: „Fiecare individ reprezintă un nou ansamblu de cunoștințe care trebuie investigat”.

- *Ultimele tendințe în cunoașterea proceselor minții se găsesc și în capitolul GRAMATICA. Pentru mai multe informații despre evoluția umană, vezi COMPORTAMENTUL PRIMATELOR, ORIGINEA UMANĂ, GENE PREISTORICE și VORBIREA. Pentru mai multe informații despre dezbaterile ereditate-mediu, vezi remarcile finale din capitolul GENELE.*



AMPRENTA ADN

De la cazuri de paternitate la diversitatea facială

MATERIALUL GENETIC UMAN din acidul dezoxiribonucleic (ADN) poate fi analizat destul de ușor pentru a identifica o persoană. Descoperirea a apărut pe neașteptate, în anul 1984. Alec Jeffreys de la Leicester investiga originea genei pentru mioglobină. Această proteină care conține fier conferă mușchilor culoarea roșie și se presupunea că a derivat din hemoglobină, molecula activă din celulele roșii ale sângelui (hematii sau eritrocite), cu aproximativ 500 de milioane de ani în urmă.

Pentru a-și ușura munca, Jeffreys a folosit pentru studiul său material genetic provenit din mostre de sânge de la el însuși și de la colaboratorii săi. Jeffreys a utilizat o metodă standard pentru a descompune materialul genetic cu ajutorul unei enzime și a separat fragmentele în funcție de rapiditatea cu care se deplasau în substanța gelatinoasă, ca răspuns la un câmp electric. Apoi acestea au putut fi etichetate cu un lanț ADN monocatenar marcat radioactiv ce se atașa unei anumite secvențe de gene.

Pe radiografie, acesta apărea ca un model al fragmentelor de ADN marcate radioactiv. Surpriza a fost că modelul era diferit de la o persoană la alta, nu subtil, ci destul de evident. La numai câteva ore după ce au observat aceste diferențe, Jeffreys și echipa sa au creat conceptul de amprentă ADN și s-au înțepat la deget pentru a lăsa sânge pe hârtie, sticlă și pe alte suprafețe. Ei au confirmat că petele de sânge îi puteau identifica pe fiecare în parte.

În următoarele șase luni, Jeffreys s-a confruntat cu primul caz real. Unui adolescent de culoare i se refuzase intrarea în Marea Britanie pentru reîntregirea familiei, mama sa fiind cetățean britanic originar din Ghana, deoarece testele de sânge obișnuite nu-i puteau confirma cu certitudine descendența. Când s-a analizat amprenta ADN, s-au observat clar caracteristici ce se potriveau cu ale mamei sale și cu ale celor trei frați, iar interdicția de imigrare a fost anulată. Jeffreys a spus atunci: „A fost un moment extraordinar să vezi privirea bieteii femei când i s-a spus că, după doi ani, coșmarul ei a luat sfârșit”.

În anul 1986, poliția din Marea Britanie a adoptat ca metodă de identificare a persoanelor amprenta ADN. După doi ani, același lucru l-a făcut și Biroul Federal de Investigații (FBI) din Statele Unite ale Americii. Utilizarea acestui procedeu a devenit ceva obișnuit în întreaga lume, atât în cazurile civile, cât și în cele

penale. O valorificare ulterioară a acestei metode, în cazul probelor prelevate din urmele de la locul faptei, prin realizarea mai multor copii ale ADN-ului, a dus la crearea bazelor de date naționale conținând ADN-ul infractorilor.

Au existat și consecințe științifice secundare. Biologii specializați în cercetarea mediului au descoperit că puteau folosi acest procedeu pentru a urmări comportamentul în timpul împerecherii, migrațiile și variațiile populațiilor de animale. De exemplu, puteau verifica dacă monogamia aparentă observată la multe specii de păsări este confirmată de paternitatea puilor. Răspunsul este că, la anumite specii, femelele sunt foarte fidele, în timp ce la altele ele își înșală permanent partenerii aparenti. Verificarea paternității este de asemenea o aplicație extrem de importantă în cazul oamenilor.

Întocmai ca și în cercetările de la Leicester, progresul tehnic în identificarea amprentei ADN apare în strânsă legătură cu tehnicile tot mai precise de analiză genetică, dezvoltate pentru scopuri generale în cercetarea biologică și medicală. La începutul secolului al 21-lea, Chad Mirkin, chimist la Universitatea de Nord-Vest din Illinois, a reușit să captureze și să identifice o singură moleculă-martor dintr-un agent patogen, cum ar fi antraxul sau virusul HIV al SIDA. Metoda constă în a lăsa molecula vizată să se lege de o moleculă ADN pereche care este fixată pe un cip, unde va ademeni și va capta particulele microscopice de aur care inundă cipul.

Când progresele geneticii umane au culminat cu schițarea întregului set de gene din genomul uman și cu identificarea unui mare număr de variante ale unor gene care ne fac diferiți unii de alții, cercetătorii din medicina legală se așteptau să poată afla mult mai mult dintr-o mostră de ADN. Dacă trăsături cum ar fi culoarea ochilor și a părului sunt determinate de una sau de câteva gene, identificarea respectivelor caracteristici la un suspect ar putea fi un lucru extrem de ușor. S-ar putea să fie mai dificil cu înălțimea și cu greutatea.

O direcție fascinantă a cercetării combină știința fundamentală cu medicina legală și se referă la chipul uman. O condiție principală a evoluției comportamentului socio-uman a fost ca fețele oamenilor să fie diferite, iar unul dintre primele lucruri pe care un bebeluș le face este să învețe să identifice fiecare persoană care îl îngrijește. Fotografiile sau portretele-robot joacă un rol important în urmărirea infractorilor. Iar când este vorba de un proces, identificarea feței cântărește destul de mult în balanța justiției.

Putem semăna cu rudele noastre la înfățișare, dar nu suntem niciodată identici, nici când este vorba de gemeni. Dacă Mama Natură creează fețe diferite amestecând și combinând un număr destul de mic de gene, ar trebui să fie posibil să le identificăm și să le asociem pe fiecare dintre ele cu anumite trăsături specifice. Descrierea corectă a feței este în aceeași măsură o problemă științifică, precum identificarea genelor.

Geneticienii de la University College din Londra au făcut echipă cu colegii de la grafică medicală pentru a obține scanări 3D ale fețelor unor voluntari, simultan cu

mostrele lor de ADN. Acest studiu a fost finanțat de Serviciul de Medicină Legală din Marea Britanie și de Consiliul pentru Cercetare Medicală. Biofizicianul Alf Linney, responsabil cu analizarea feței, a afirmat: „Sperăm ca, în viitor, să putem produce o imagine foto reală a unui delincvent plecând doar de la ADN-ul dintr-o picătură de sânge sau din alt fluid corporal găsit la locul faptei”.

- *Vezi, de asemenea, GENELE și referințele de acolo. Pentru rolul imaginii faciale în evoluția socio-umană, vezi ALTRUISM ȘI AGRESIVITATE.*



„Haina cosmică” a lui Saharov îi explică oare absența?

ÎN TIMPUL RĂZBOIULUI RECE, Moscova era o aglomerație urbană mohorâtă. Splendorile Kremlinului, fortăreața conducătorilor din Piața Roșie, contrastau cu viața aspră și atent supravegheată a cetățenilor de rând. Dar aceștia nu erau lipsiți de bucurii. Dacă aveau noroc, prindeau un bilet la circ. Sau se puteau plimba spre sud-vest, pe Leninsky Prospekt, unde i-ar fi putut întâlni pe cetățenii care lucrau la institutele Academiei Sovietice de Științe, care încă mai gândeau liber.

Fizicienii de la Institutul de Fizică Lebedev erau în mod special privilegiați, ca bufoni ai curții. Lor li se permitea să disprețuiască și să ignore tentativele puritanilor marxist-leniniști de a exila din știință teoria relativității și teoria cuantică, considerându-le drept „pseudoștiințe burgheze”. Tot ei sunt cei care au salvat biologia sovietică, care căzuse și ea victimă „corectitudinii politice”, sabotând admiterea discipolilor anti-genetică ai lui Trofim Lîsenko la Academia de Științe. Atâta timp cât s-au ocupat numai de știință și nu de politică, fizicienii au fost în siguranță, pentru că făceau multe servicii statului.

Competența lor a avut punctul de plecare în urmă cu două secole, când țarul Rusiei, Petru cel Mare, a manifestat un interes deosebit pentru dezvoltarea matematicii aplicate. După Revoluția Rusă, fizica teoretică a fost considerată, alături de caviar, balet sau șah, drept o delicată sovietică. Recompensa a venit în timpul războiului rece, când cunoștințele fizicienilor ruși au devenit o provocare pentru occidentali.

Aceștia au oferit Uniunii Sovietice o bombă cu hidrogen funcțională la numai câteva luni după Statele Unite, deși au început mult mai târziu fabricarea acesteia.

I-au ajutat pe ingineri să-i depășească pe americani în cucerirea spațiului cosmic mai întâi prin primul satelit artificial Sputnik, iar apoi prin Iuri Gagarin, primul cosmonaut. Ei au construit primul reactor civil de fisiune nucleară din lume, iar ideile lor ingenioase referitoare la energia obținută prin fuziune nucleară controlată au fost rapid preluate de Occident. Pe lângă acestea, fizicienii sovietici au inventat laserul și au prezis corect care radiotelescop american va descoperi microundele venite din spațiu.

Cel mai strălucit dintre aceștia, dacă ar fi să judecam după desemnarea sa ca fiind cel mai tânăr academician care a existat vreodată, a fost Andrei Saharov. El a jucat un rol-cheie în dezvoltarea bombei cu hidrogen sovietice și a avut de suferit datorită vehiculării clandestine a comentariilor lui asupra consecințelor biologice și politice ale acesteia, în samizdat, încălcând astfel regulile „bufonilor”. El nu a câștigat niciodată Premiul Nobel pentru fizică, în schimb a primit Premiul Nobel pentru pace.

Într-un răstimp scurt, între anii 1965 și 1967, temele de gândire ale lui Saharov s-au extins de la exploziile produse de oameni până la Big Bang-ul cosmic, în încercarea de a găsi o soluție uneia dintre problemele fundamentale ale Universului. O mică imperfecțiune în legile, de altfel, foarte precise ale fizicii, spunea el, ar putea explica de ce materia a supraviețuit și antimateria nu – făcând astfel existența noastră posibilă.

Aceasta rămâne cea mai de seamă moștenire pe care ne-a lăsat-o Saharov, ca om de știință. Urmând să fie confirmată sau infirmată de experimentele din secolul al 21-lea, această moștenire va putea fi considerată, retrospectiv, drept una dintre cele mai profunde viziuni din cercetarea secolului al 20-lea. În deceniile care au urmat publicării ei în Rusia, ideea lui Saharov i-a inspirat pe mulți fizicieni din întreaga lume să se grupeze în mari echipe multinaționale și să efectueze experimente minuțioase. De asemenea, această idee a catalizat apariția unor întrebări din ce în ce mai profunde despre natura spațiului și a timpului.

Pe un extras al lucrării sale de patru pagini, publicată în revista sovietică *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters* (*Pisma v Jurnal Eksperimentalnoi i Teoreticheskoj Fiziki*), Saharov a notat de mână câteva versuri în limba rusă, rezumându-i întregul conținut. În traducere liberă, acestea sună astfel:

Prin efectul Okubo

La temperaturi înalte

Este croită o haină pentru Univers

Care să se potrivească formei lui asimetrice.

Pentru a înțelege ceea ce voia să spună Saharov și pentru a descoperi, spre exemplu, cine a fost Okubo și ce legătură are temperatura cu subiectul, ar fi nevoie de o retrospectivă a fizicii secolului al 20-lea. Cea mai ușoară parte a explicației pune problema ghicitorii cosmice abordate de Saharov. Ce s-a întâmplat cu antimateria?

● Asimetria spinului materiei

Antimateria este *Doppelgänger*-ul (dublul) predestinat al materiei obișnuite și descoperirea ei a împlinit una dintre cele mai improbabile predicții din istoria fizicii. În 1927, Paul Dirac de la Cambridge a îmbinat dovada că particulele au proprietăți ondulatorii cu cerințele teoriei relativității a lui Einstein. Astfel, el a explicat de ce un electron se învârtă în jurul unei axe ca un titirez. Dar din ecuațiile lui Dirac a apărut o altă particulă, o imagine în oglindă a electronului.

Semnificația acestui rezultat teoretic a fost bulversantă și controversată, dar Dirac a avut suficientă încredere în el încât să vorbească despre antielectron ca despre o particulă reală, nu doar o ficțiune matematică. La fel de încrezător a fost și Carl Anderson de la Caltech, care a efectuat experimente asupra radiației cosmice. În 1932, el a observat o particulă ușoară deviind în direcție greșită sub influența unui magnet și a decis că era vorba despre un antielectron, deși nu auzise despre ideea lui Dirac.

Antielectronul are aceeași masă ca și electronul, dar sarcină electrică de semn contrar, și este numit și pozitron. Pozitronul lui Anderson a reprezentat prima mostră de antimaterie. Ulterior, pentru fiecare particulă s-a descoperit existența unei antiparticule cu proprietăți simetrice.

Dacă o particulă își întâlnește antiparticulara, ele se anihilează reciproc și dispar într-o emisie de radiație gama. Acest lucru se întâmplă zi și noapte, chiar deasupra capetelor noastre, căci pe măsură ce radiația cosmică provenită din galaxia noastră creează pozitroni, electronii din atmosferă „se sacrifică” pentru a-i anihila. Totuși, numărul electronilor rămâne neschimbat. Ori de câte ori o rază cosmică creează un pozitron, se creează în același timp și un nou electron, care se deplasează repede într-o altă direcție, apoi încetinește, și se alătură astfel atomilor din aer, înlocuind electronul pierdut prin anihilare.

Pentru a crea materie, singura modalitate cunoscută de fizicieni este concentrarea unei energii duble față de cea necesară și implică apariția unei cantități egale de antimaterie, simultan. Tocmai aici este problema. Dacă Universul ar fi creat cantități egale de materie și antimaterie, ar fi trebuit ca totul să fi dispărut din nou, într-o anihilare reciprocă, lăsând cosmosul complet lipsit de materie.

Oricum, Universul este aproape gol. Priviți cerul întunecat al nopții. Aceasta înseamnă că putem restrânge problema, așa cum a procedat Saharov. Pentru fiecare miliard de particule de antimaterie create, sunt necesare doar 1 000 000 001 de particule de materie pentru a explica ceea ce rămâne. Altfel spus, pentru a furniza masa Pământului, Universul a creat inițial echivalentul a 2 000 000 001 de Pământuri și a sacrificat 2 000 000 000 într-o anihilare reciprocă. Urmele acestui surplus dispărut se află pretutindeni în jurul nostru sub forma radiației invizibile.

Totuși, chiar și o discrepanță atât de mică între producerea materiei și antimateriei i-a fost suficientă lui Saharov pentru a considera că Universul este asimetric. Iar

În lucrarea sa din 1967, el a folosit cele mai recente descoperiri despre particule pentru a explica felul în care acest lucru s-ar putea produce. În privința acestui fapt, fizica devine mai exigentă decât imaginația umană, pentru că Mama Natură este destul de timidă atunci când își încalcă propriile legi.

Primii care au surprins această încălcare a propriilor legi au fost fizicienii chinezi care au lucrat în SUA în anii 1956–1957. Discutând ca între polițiști cosmici la cafeneaua White Rose de pe Broadway, Tsung-Dao Lee de la Universitatea Columbia și Chen Ning Yang, aflat în vizită la Princeton, au concluzionat că una dintre forțele subatomice se comportă ca un delincvent. Straniile particule subatomice K, numite astăzi kaoni, i-au neliniștit cel mai mult pe fizicieni. Când ele se dezintegrează în particule mai ușoare, realizează aceasta în moduri contradictorii, ca și cum o particulă ar putea să-și schimbe proprietățile într-o manieră nemaiîntâlnită.

Lee și Yang au pus acest fapt în seama forței nucleare slabe, cea care transformă un tip de particule în altul și este implicată în radioactivitate. Părea că se manifestă o discriminare în favoarea particulelor care se rotesc într-o anumită direcție. Până atunci, toată lumea se aștepta la o simetrie perfectă, în concordanță cu un principiu matematic numit conservarea parității. Mai simplu, dacă privim dezintegrarea unui nucleu radioactiv, care este însoțită de emisia unor particule în anumite direcții, atunci imaginea în oglindă a evenimentului ar trebui să fie identică, dar cu direcțiile emisiilor inversate. Lee și Yang au prezis un eșec al conservării parității.

O cercetătoare din China, Chien-Shiung Wu, stabilită tot la Universitatea Columbia, a verificat conservarea parității într-un experiment realizat la Biroul Național de Standarde din Statele Unite. Ea a aliniat nuclee de atomi radioactivi într-un câmp magnetic puternic și a observat emisia de pozitroni ce însoțea dezintegrarea acestora. Ar fi fost de așteptat ca pozitronii să se fi îndreptat în direcții arbitrare în interiorul câmpului magnetic, dar Wu a observat că majoritatea se îndreptau într-o direcție anume. Aceștia nu au trecut testul oglinzii.

Lumea fizicii a fost șocată. O interpretare imediată a rezultatului lui Wu implica neutrinii, particule fantomatice care se supun forței nucleare slabe și care sunt emise în același timp cu pozitronii. Toți trebuie să se rotească în sens invers acelor de ceasornic, spre stânga, în jurul direcției lor de mișcare. Nu trebuiau să existe neutrini care se rotesc în sensul acelor de ceasornic.

Acest fapt este la fel de straniu ca și cum, rotind diferite fructe în fața unei oglinzi, imaginea reflectată a unuia dintre ele ar deveni invizibilă. Iată electronul nostru, mărul, rotindu-se spre stânga, și iată-l în oglindă, rotindu-se spre dreapta. Iată protonul nostru, pepenele, ... și tot așa, pentru orice particulă subatomică cunoscută, până când ajungem la zmeură – care reprezintă neutrinelul nostru.

Iată mâna noastră reflectată ca de obicei în oglindă, dar e goală, pentru că neutrinelul nu se poate roti spre dreapta. În sfârșit, lăsăm neutrinelul jos și ținem numai

mâna. Vom vedea în imaginea reflectată mâna rotind o zmeură. Aceasta reprezintă antineutrino, rotindu-se spre dreapta. Mâna noastră reală rămâne goală pentru că antineutrino care se rotesc spre stânga sunt interziși.

Interesant! Neconservarea parității semnifică faptul că Mama Natură nu e perfect ambidextră. Asimetria stânga-dreapta a neutrinilor semnifică faptul că forța slabă diferențiază particulele asupra cărora operează în funcție de chiralitate. De fapt, aceasta a oferit prima modalitate de a distinge stânga de dreapta într-un mod obiectiv. Dar fizicienii au avut de suferit din cauza neutrinilor asimetrice, care le-au spulberat idealul lor de cosmos ordonat.

● Au aruncat și celălalt pantof...¹

Lev Landau de la Institutul Lebedev din Moscova a oferit o soluție rapidă pentru diminuarea răului produs. Violarea parității părea să fie egală și de sens opus în cazul materiei, și respectiv al antimateriei. Astfel, dacă o particulă s-ar transforma în antiparticulă ori de câte ori violarea parității și-ar face temuta apariție, totul ar fi bine. Denumirea științifică a acestei invenții ingenioase este conservarea CP. C semnifică împerecherea sarcinilor, care asigură distincția dintre materie și antimaterie, iar P se referă la reflexiile în oglindă ale parității.

Fizicienilor le-a plăcut acest remediu. C și P puteau să dea greș separat, dar dacă acționau împreună ca CP, Universul își păstrează frumusețea simetrică, deși într-un mod mult mai subtil. „Cine ar fi visat în 1953 că studiile despre dezintegrarea particulelor K vor conduce la o nouă revoluție în înțelegerea principiilor conservării?”, se entuziasma imprudent un autor de manuale, în 1963. La acea vreme, Val Fitch de la Princeton a adăugat un comentariu ironic: „Dar apoi, în 1964, aceleași particule au aruncat, în sfârșit, și celălalt pantof”.

Acest lucru s-a produs în timpul unui experiment de la Laboratorul Național Brookhaven din Long Island, când Fitch, împreună cu un coleg mai tânăr, James Cronin, au studiat cu mai multă atenție comportamentul particulelor neutre K. Interesul lor s-a concentrat mai ales pe efectele neobișnuite observate la trecerea particulelor prin materiale solide. Verificarea principiului conservării CP a fost un scop secundar al experimentului, pentru că aproape toată lumea era convinsă de respectarea lui. Fitch a afirmat mai târziu: „Puțini dintre colegii noștri ar fi acordat atâta încredere studiului conservării CP, dar noi am crezut în el”.

¹ Expresia americană „a arunca și celălalt pantof” se referă la așteptarea unui eveniment inerent, nu totdeauna de bun augur, și provine de la o istorioară hazlie: Un om care locuiește în chirie la un etaj superior vine acasă seara târziu și începe să se dezbrace. Mai întâi își scoate un pantof și-l aruncă cu zgomot pe podea, deranjându-l pe vecinul de jos. Apoi își amintește că la ora aceea ar trebui să facă liniște, pentru a nu-și deranja vecinii. Își descaltă și celălalt pantof, și-l pune jos cu mare grijă și atenție. După ceva timp, se aude vocea vecinului, care rămăsese treaz în tot acest timp, strigând: „Pentru numele lui Dumnezeu, aruncă odată și celălalt pantof”!

Acesta nu a trecut însă testul. Experimentatorii au detectat două tipuri diferite de particule K neutre. Acestea erau o particulă și antiparticula sa, deși diferențele dintre ele erau principiale, pentru că ele aveau aceeași masă și aceeași sarcină electrică nulă. Una dintre ele are un timp de viață scurt, dezintegrându-se, după o deplasare de numai câțiva centimetri, în două particule mai ușoare numite pioni. Cealaltă particulă neutră K se dezintegrează în trei pioni, dar după un timp mai lung, astfel încât se deplasează câteva zeci de metri înainte de a se descompune.

Contradicția cu principiul invarianței CP venea din faptul că particulele cu timp de viață mai lung nu ar fi trebuit să se divizeze niciodată în doar doi pioni. Aceasta se datora faptului că nu există nicio modalitate de a combina o schimbare de paritate (P) cu comutarea materie-antimaterie (C) necesară dezintegrării în doi pioni. Totuși, o neînsemnată dar agresivă minoritate dintre ele se comporta exact în acest fel. Interesant, din nou!

„Am fost foarte marcați de importanța rezultatului, și, trebuie să mărturisesc, n-am crezut nici noi la început”, a declarat Fitch. „Am petrecut aproape jumătate de an încercând să inventăm explicații, alternative viabile, dar am eșuat de fiecare dată.”

Nu toată lumea era înspăimântată. În următorii zece ani s-au dezvoltat cu repeziune teorii despre fizica particulelor care au explicat cazurile în care conservarea CP nu mai era respectată. Iar înainte de aceasta, în 1958, Susumu Okubo de la Universitatea Rochester, New York, fusese printre primii care au sugerat că soluția lui Landau care explica violarea parității ar putea să nu fie foarte sigură. Rezultatul Fitch-Cronin a justificat gândirea lui Okubo, de aceea el este menționat în catrenul lui Saharov.

În ceea ce-l privește pe Saharov, faptul că a scăpat pentru mai multe ore prețioase de corvezile sale militare și politice, pentru a ține pasul cu rezultatele științifice ale Occidentului, nu putea decât să-l bucure. Violarea invarianței CP i-a permis să croiască o „haină cosmică” pentru a rezolva ghicitoarea antimateriei dispărute. Se putea crea astfel, rapid, micul surplus de materie în comparație cu antimateria.

Dar haina care a rezultat avea și ea două fețe, reprezentând alte cerințe. Prima era că Universul ar trebui să fie foarte fierbinte și în expansiune rapidă, astfel încât Mama Natură să nu aibă timp să-și corecteze „aberația” – de unde și referința la temperaturile înalte din catrenul lui Saharov. Cealaltă cerință era cea a posibilității de transformare reciprocă între particulele cosmice grele și cele ușoare, astfel încât particula grea, protonul, să fie capabilă să se dezintegreze într-un pozitron.

● Quarci bottom din belșug

Saharov a fost cu mult înaintea timpului său, dar ideile sale au influențat gradat și gândirea altor fizicieni. Până la sfârșitul secolului al 20-lea, eforturile lor teoretice și experimentale de a stabili cauza excesului de materie față de antimaterie

au devenit o „industrie” importantă. Deși Universului nu-i venea perfect haina croită de Saharov, „croitul” a ajuns să fie la modă. Și pentru că aceasta avea la bază evenimente ipotetice petrecute la începutul Universului, a ajuns și în atenția cosmologilor.

„Violarea conservării CP oferă o legătură unică și subtilă între microcosmos (spațiul interior), explorat prin experimentele din laborator, și macrocosmos (spațiul cosmic), explorat cu ajutorul telescoapelor care măsoară densitatea materiei din Univers”, scria în 1999 John Ellis, un fizician teoretician de la laboratorul european de fizica particulelor – CERN. „Sunt convins că acest dialog dintre teorie, experiment și cosmologie va culmina cu o teorie a originii materiei în Univers, bazată pe ideile cu implicații vaste propuse de Saharov în 1967.”

Totuși, aceasta nu putea fi o misiune ușoară. Pe vremea când făcea această afirmație nimeni nu detectase încă experimental dezintegrarea protonului, deși experimente importante din întreaga lume, continuă, având acest scop. Iar aproape toate particulele de pe lista forțelor și a materiei cosmice se comportă enerwant de corect, respectând regula strictă a principiului conservării CP. Timp de aproape 40 de ani de la rezultatul Fitch-Cronin, particulele K neutre au rămas singurii delincvenți CP cunoscuți, comparate în unanimitate cu niște copii neastâmpărați, nici pe departe suficient de puternici pentru jaful care a asigurat Universul cu materie.

Particulele K neutre sunt formate din particule și mai mici, quarci „strange”. Particulele analoage B sunt formate din quarci „bottom” și au o masă mult mai mare. Ca și în cazul particulelor neutre K, există două feluri de particule B, particulă, respectiv antiparticulă. Există oare posibilitatea ca diferențele dintre modurile de dezintegrare ale particulelor B, similare cu cele ale particulelor neutre K, să fi stimulat producția cosmică în exces a materiei față de antimaterie?

Pentru a afla aceasta, au fost create „uzine” de particule B la sfârșitul anilor 1990 la Tsukuba, lângă Tokyo, și la Stanford, în California. Producând milioane de particule neutre B, fizicienii au avut posibilitatea să cerceteze diferențele dintre vitezele de dezintegrare ale celor două varietăți, obținând astfel informații despre încălcarea invarianței CP. În anul 2001, atât oamenii de știință de la Tsukuba, cât și cei de la Stanford au adus dovezi convingătoare în acest sens. Au fost experimente de mare anvergură. „Fabrica” de la Stanford, spre exemplu, a început să creeze particule B acumulând electroni și pozitroni de mare energie în două inele magnetice de stocare, fiecare cu o circumferință de 2,2 kilometri. Apoi au realizat ciocnirea lor frontală în raza de acțiune a unui detector de 1 200 de tone, proiectat pentru urmărirea dezintegrărilor particulelor neutre B, care se descompun într-o milionime de milionime de secundă.

Peste 600 de oameni de știință și ingineri din 75 de instituții din Canada, China, Franța, Germania, Italia, Norvegia, Rusia, Marea Britanie și Statele Unite au participat la experimentele de la Stanford. Aceasta constituie o dovadă a seriozității

cu care a fost luat în considerare scenariul lui Saharov. Aceeași seriozitate s-a reflectat și în plan financiar, prin fondurile de peste 100 de milioane de dolari, cea mai mare parte din această sumă fiind alocată de către guvernul Statelor Unite.

Însă nici chiar particulele B n-au fost capabile să încline suficient balanța materie-antimaterie. Teoreticienii și experimentatorii au început cercetarea altor mijloace pe care Mama Natură le-ar fi putut folosi pentru a crea mai multă materie decât antimaterie. O sugestie a constituit-o inversarea dezintegrării protonului lui Saharov, prin care particule din familia leptonilor (electroni, neutrini) se transformă în quarci. Ca punct de pornire, s-a sugerat existența neutrinilor grei cu spin în sens orar (al acelor de ceasornic), dar ei nu au fost detectați.

„Încă nu dispunem de o explicație convingătoare pentru inegalitatea materie-antimaterie din Univers”, a afirmat Helen Quinn de la Stanford, rezumând situația existentă în 2001. „Dar e un mister care merită să fie rezolvat.”

● În căutarea imposibilului

Răspunsul ar putea fi oferit de experimentele îndrăznețe concepute în scopul descoperirii unor lucruri aparent imposibile. La CERN, la Geneva, datorită mai ales fondurilor japoneze, cea mai mare provocare la trecerea dintre secole a constituit-o crearea de antiatomi și descoperirea diferențelor de comportament dintre aceștia și atomii obișnuiți. Deși fizicienii produseseză componente separate de atomi de antihidrogen încă de mult timp, determinarea unui pozitron să orbiteze în jurul unui antiproton a fost un lucru dificil de pus în practică. Aceasta necesită reducerea vitezei atât a pozitronului, cât și a antiprotonului.

Echipele care au efectuat experimente la CERN au reușit producerea antihidrogenului în anul 2002, utilizând un decelerator de antiprotoni. Fizicienii au vrut să verifice dacă radiația ultravioletă emisă de atomii de antihidrogen are aceleași lungimi de undă ca și cea emisă de atomii obișnuiți. Orice discrepanță ar fi fost extrem de semnificativă în explicarea raportului materie-antimaterie. Experimentatorii au cercetat, de asemenea, orice diferență a efectului gravitației asupra antimateriei, încercând să observe dacă lungimile de undă variază pe măsură ce Pământul își modifică distanța față de Soare în timpul rotației anuale. Conform unui principiu îndrăgit al lui Galileo și al lui Einstein, n-ar trebui să existe un asemenea efect gravitațional – dar cine poate ști cu siguranță?

Legătura dintre fizica antimateriei și direcția timpului a constituit o altă temă de gândire pentru secolul al 21-lea, și anume asimetria Universului. După încălcarea conservării P și apoi a celei CP, teoreticienii au ajuns la ceea ce părea ultima redută în apărarea ideii de cosmos ordonat. Semnul de deasupra ascunzătorii era CPT, în care T este chiar timpul.

În fizica particulelor, contrar experienței obișnuite, timpul este considerat în general un drum cu dublu sens. Așa cum a precizat pentru prima dată Richard

Feynman de la Caltech în 1947, o antiparticulă nu poate fi diferențiată de particula corespunzătoare ei, călătorind înapoi în timp. Dacă am putea pătrunde, precum Alice, prin oglinda CP, și dacă am fi capabili să ne transformăm în dublul nostru antimaterial, timpul ar trebui să curgă înapoi pentru noi.

Problema în ceea ce privește CPT a reprezentat-o faptul că orice schimbare de identitate dintre materie și antimaterie (C), care nu este cuplată cu modificările corespunzătoare în simetria din oglindă (P), ar avea ca rezultat inversarea direcției de curgere a timpului (T). Cu alte cuvinte, dacă o particulă care nu respectă conservarea CP și-ar schimba sensul curgerii timpului, atunci ceva din buna ei comportare s-ar păstra. Aceasta ar putea constitui într-adevăr o recompensă filozofică. Am putea argumenta din conservarea CPT că preferința pentru materie a Universului, dacă este cerută, conform lui Saharov, de încălcarea conservării CP, ar fi trebuit să decidă direcția în care se scurge timpul experienței noastre cotidiene.

Ar fi oare posibil ca această conservare a CPT să fie și ea încălcată, așa cum s-a întâmplat cu invarianțele P și CP? Rezultatele mai multor ani de experimente diminuează această posibilitate, însă verificarea acestei ipoteze nu a luat încă sfârșit. Din cauza legăturii dintre spațiu și timp pe care a dezvoltat-o teoria relativității lui Albert Einstein, o violare a CPT ar putea favoriza o anumită direcție atât în spațiu, cât și în timp. Acest lucru ar putea determina într-adevăr o asimetrie a Universului din punct de vedere topografic, și nu doar metaforic, al asimetriei materie-antimaterie despre care vorbea Saharov.

Astfel, noua provocare constă în a observa dacă rezultatele experimentelor depind de ora efectuării lor. Rotindu-se la fiecare 24 de ore, Pământul modifică în mod constant orientarea în spațiul cosmic a acceleratoarelor de particule, a ceasurilor atomice și a altor echipamente. Măsurători de mare precizie ar putea dezvălui rezultate diferite în funcție de alinierea sau nealinierea experimentului la o direcție favorizată a spațiului.

În momentul în care fizicienii din Statele Unite, Japonia și Europa și-au comparat descoperirile în cadrul unei întâlniri desfășurate la Bloomington în 2001, ei au ajuns la concluzia că rezultatele experimentelor la ore diferite diminuează în mod constant posibilitatea violării conservării CPT, reducând-o aproape la zero. Însă cercetările ambițioase continuă: spre exemplu, se intenționează instalarea de ceasuri atomice și rezonatori cu microunde pe Stația Spațială Internațională (SSI), care efectuează o mișcare de rotație în jurul Pământului la fiecare 90 de minute.

De asemenea, a fost pregătit pentru a fi instalat pe SSI cel mai mare detector de particule subatomice care va opera extraatmosferic, în cadrul unei colaborări dintre Europa, Statele Unite, China, Taiwan și Rusia. Un spectrometru magnetic de radiații alfa (adică protoni) a fost conceput în vederea detectării antimateriei. O posibilă sursă a ei ar putea fi dezintegrarea particulelor exotice în misterioasa materia neagră care se află pretutindeni în Univers.

Aspectul inedit al acestui experiment l-a constituit faptul că spectrometrul magnetic alfa a fost, de asemenea, conceput în vederea detectării nucleelor de antihe-liu. Acest fapt i-a determinat pe oamenii de știință să reexamineze axioma scenariului lui Saharov, și anume că: toată antimateria a dispărut foarte devreme în istoria Universului. În eventualitatea în care, dimpotrivă, aceasta ar fi supravie-tuit în cantități semnificative, antiheliul ar constitui o reminiscență. Antiprotonii din antihidrogen nu contează, deoarece ei rezultă ușor din coliziunile actuale dintre particulele din radiația cosmică.

Creația efemeră de antimaterie se poate observa ușor nu numai când radiația cos-mică lovește Pământul, ci și din radiația gama provenită din recombinarea vio-lentă dintre electronii și pozitronii proaspăt creați. Mulți fizicieni iau în derâdere ideea supraviețuirii pe scară largă a antimateriei primordiale. Aceasta ar fi trebuit să se manifeste deja prin existența mai multor surse cosmice de radiație gama. Totuși, din 1957 încoace, când Chien-Shiung Wu a observat că pozitronii nu respectă conservarea parității, problema asimetriei Universului ar fi trebuit să le demonstreze fizicienilor că nu vor găsi niciodată explicații, dacă nu dau atenție fenomenelor aparent interzise sau chiar ridicole.

Pe vremea când Saharov își scria lucrarea sa privind raportul materie-antima-terie, în cenușia Moscova sovietică, era un fapt bine stabilit că turiștii cazați la hoteluri scumpe nu puteau fi jefuiți. Astfel, dacă te plângeai că ți-a dispărut din cameră căciula de blană, ți se spunea că te-ai înșelat și nu era necesară nicio investigație. Ca rezultat, nimeni nu a fost acuzat niciodată de furt, fapt care a ge-nerat o statistică ce demonstra că nimeni nu a fost niciodată jefuit. În cazul în care fizicienii vor evita asemenea erori de autoconfirmare, există speranța per-petuării experimentelor îndrăznețe.

- *Pentru a afla mai multe despre rolul antimateriei în Modelul Standard al fizicii particulelor, vezi **FAMILII DE PARTICULE** și **FORȚA ELECTROSLABĂ**. Pentru mai multe informații despre dezintegrarea protonului, vezi **SPARTICULE**. Pentru mai multe informații despre Saharov în calitate de proiectant de bombe, vezi **ARMELE NU-CLEARE**.*



ARABIDOPSIS

Planta modestă care le-a oferit
botaniștilor o viziune de ansamblu

I MEDIAT CE IEȘI de pe autostrada Utrecht-Arnhem se află câmpurile experimentale și laboratoarele Universității Wageningen, situată într-un cadru deosebit, între o rezervație naturală și lunca Rinului. Olanda este renumită atât pentru cercetările din domeniul agriculturii, cât și pentru cele din domeniul astronomiei. Campusul Wageningen, primul colegiu național de agricultură olandez, ce datează din 1876, este pentru botaniștii olandezi echivalentul faimosului observator astronomic de la Leiden.

Aici geneticianul Wil Feenstra le-a prezentat studenților săi, în 1962, o plantă numită *Arabidopsis thaliana*, înrudită cu muștarul. El dădea curs ideii lui Friedrich Laibach de la Frankfurt, care sugerase, în 1943, că arabidopsis ar fi o bună „materie primă” pentru cercetările genetice. Se urmărește dezvoltarea unui mare număr de mutanți și se detectează astfel, observând malformațiile acestora, genele responsabile pentru diverse caracteristici și funcții ale plantei sănătoase. Și atunci ce putea fi mai potrivit decât această plântuță, al cărei ciclu de viață durează mai puțin de șase săptămâni, și care adeseori se autofertilizează și produce mii de semințe? Complet dezvoltată, această plantă măsoară aproximativ 20–30 de centimetri de la rădăcină la vârf.

Arabidopsis apare spontan într-un mod inofensiv și aparent inutil, din zonele arctice până la Ecuator. Numele speciei – *thaliana* – a fost dat în onoarea lui Johannes Thal, cel care a descoperit-o în Munții Harz din Germania în secolul al 16-lea.

Personalul și studenții care lucrau în laboratorul de genetică de la Wageningen au strâns zeci de mutanți de arabidopsis. În 1976, un tânăr genetician, Maarten Koornneef, a fost adus de la o firmă care producea semințe pentru a conduce acest studiu. El a profitat de această ocazie pentru a redacta, cu ajutorul studenților, prima hartă genetică a plantei arabidopsis. În 1983 echipa a plasat 76 de gene cunoscute pe cele cinci perechi de cromozomi – locul din nucleul celular unde se află în dublu exemplar materialul genetic.

Koornneef a întâmpinat dificultăți la publicarea acestei lucrări de referință. La acea vreme, editorii revistelor de specialitate și referenții considerau că această plantă este lipsită de importanță și nu prezintă interes pentru cititori. Primul

simpozion internațional pe tema arabidopsisului, desfășurat la Göttingen în 1965, a atras numai 25 de participanți, iar în anii 1970 o parte dintre aceștia s-a îndepărtat de acest subiect din lipsa sprijinului financiar. Acest fapt a fost agravat de un dezinteres general pentru plante în general în comparație cu animalele, în cercetarea fundamentală din genetică.

Era nevoie de descoperiri importante pentru a renaște interesul față de arabidopsis. La Wageningen, echipa lui Koornneef identificase gene-cheie implicate în formarea plantei și a florilor sale și determinase rolul hormonilor în viața plantei arabidopsis, însă aceste descoperiri aveau să fie apreciate la justa lor valoare abia peste un deceniu. Un impact mai prompt l-a avut, spre sfârșitul anilor 1970, studiul lui Christopher Somerville de la Universitatea statului Michigan și al colegilor săi. Ei au localizat gene ale arabidopsisului implicate în fotosinteză și în interacțiunile cu dioxidul de carbon.

● Decodificarea genelor

Până la acea vreme, tehnicile biologiei moleculare și ale clonării genelor au fost introduse în genetica plantelor, iar cei care se foloseau de arabidopsis au avut mare noroc. Fapt necunoscut până în acel moment, setul complet al genelor de arabidopsis – genomul său – este conținut într-o cantitate extrem de mică de ADN. Deși existau indicații anterioare în acest sens, Elliot Meyerowitz de la Caltech a fost primul care a confirmat acest fapt în 1984.

Codul genetic al plantei are numai 130 de milioane de „litere”, comparativ cu cele 840 de milioane din codul genetic al cartofului sau cu cele 17 300 milioane ale grâului. Cu toate acestea, arabidopsisul este o plantă complet funcțională, posedând deci toate genele necesare vieții, fără materialul genetic redundant sau inutil prezent în ADN-urile altor specii de plante cu flori. Acest fapt nu numai că reduce sarcina viitorilor „cititori” ai genelor, ci și oferă rezultate mai ușor de interpretat.

Spre sfârșitul anilor 1980 era la modă proiectul genomului uman – decodificarea tuturor genelor umane. De asemenea, au existat proiecte pentru studiul genomurilor animalelor. Pentru a ține pasul, botaniștii geneticieni au avut de ales între a studia petunia, roșia sau arabidopsisul. În final, s-a hotărât cercetarea celei din urmă, grație genomului său extraordinar de mic.

În timp ce oamenii de știință din Statele Unite și instituțiile finanțatoare dezbăteau încă posibilitatea decodificării genomului de arabidopsis, Europa a demarat cercetările. Aici s-au alocat fonduri importante chiar și laboratoarelor care nu se ocupaseră inițial cu cercetarea acestei plante. O primă inițiativă britanică a fost urmată la scurt timp de proiectul Bridge al Uniunii Europene. Lansat în anul 1991, acest proiect a reunit 33 de laboratoare din nouă țări în vederea studiului funcțiilor genelor în cadrul mutațiilor arabidopsisului.

În anul 1995 s-a creat o echipă specială formată din oameni de știință din zece laboratoare, în vederea citirii fiecărei litere din codul ADN al uneia dintre cele

cinci perechi de cromozomi ai arabidopsisului, proiect finanțat tot de Uniunea Europeană. A fost selectat cromozomul cu numărul 4, iar coordonator al echipei a fost desemnat Michael Bevan de la John Innes Centre din Marea Britanie.

Și alți oameni de știință au trecut la acțiune și astfel programul Inițiativa Genomului de Arabidopsis a fost lansat pe plan mondial în 1996. Guvernul Statelor Unite a oferit Institutului de Cercetări Genomice din Maryland un contract pentru studiul cromozomului 2 al arabidopsisului. A fost o acțiune nonprofit realizată de Craig Venter, care era în dispută cu colegii săi asupra celei mai bune modalități de a decodifica secvențele genomului. Metoda lui rapidă, ce folosea tehnica shotgun, a făcut ca studiul cromozomului 2 să se încheie la sfârșitul anului 1999, în același timp cu studiul cromozomului 4, realizat de europeni.

Un an mai târziu au fost decodificați cromozomii 1, 3 și 5 ai arabidopsisului, iar lista participării multinaționale a crescut incredibil. Astfel, autorul principal al studiului cromozomului 1 era afiliat laboratorului Departamentului American de Agricultură de la Berkeley, cel al raportului despre cromozomul 3 provenea de la Genoscope, Centrul Național Francez de Secvențiere de la Evry, iar pentru studiul cromozomului 5, șeful proiectului era de la Institutul Kazusa de Cercetare a ADN-ului, situat în prefectura Chiba, în partea estică a golfului Tokyo. Însă deviza proiectului Inițiativa Genomului de Arabidopsis era „unul pentru toți și toți pentru unul”.

La sfârșitul secolului al 20-lea, aproximativ 3 000 de oameni de știință din întreaga lume realizau cercetări pe arabidopsis, mai mulți decât pe orice altă plantă cultivată. „E bine să nu mai fii singur pe lume – să ai așa de mulți colegi cu care să comunici”, afirma Koornneef.

● Ce fac toate aceste gene?

În acest spirit de colaborare, geneticienii botaniști au încercat să ofere un bun exemplu geneticienilor care studiau genomurile animalelor sau pe cel uman. Exista o regulă nescrisă de a face imediat publice codurile genetice descifrate, în mod gratuit pentru toți cei interesați, prin intermediul Internetului. Oamenii de știință s-au mândrit atunci cu calitatea analizei genomului, în special în ceea ce privește legăturile incomode dintre perechile de cromozomi, numite centromeri.

Aceasta a însemnat o descoperire fundamentală în genetică. Echipa care studia arabidopsisul afirma despre centromeri: „Asemenea regiuni sunt în general considerate medii neprielnice pentru manifestarea genelor. În mod cu totul și cu totul neașteptat, am descoperit peste 47 de gene codificate în centromerii definiți genetic... Genele care pot fi găsite aici prezintă probabil modele unice de evoluție moleculară”.

S-au efectuat cercetări asupra tuturor aspectelor vieții micii plante legate de genele ei. Echipele multinaționale ale Inițiativei Genomului de Arabidopsis au schițat o viziune de ansamblu uluitoare, atunci când au publicat secvențele

genetice complete. Au precizat de asemenea și faptul că au rămas încă multe aspecte necunoscute. Iată câteva aspecte esențiale din comentariile lor.

Majoritatea genelor de arabidopsis comandă producerea de material proteic și de enzime necesare proceselor care constituie programul zilnic al celulelor plantei. Se presupune că aproximativ 420 de gene sunt implicate în formarea și reconstruirea pereților unei celule. Se pot distinge peste 600 de sisteme de transport, care colectează, distribuie și transmit nutrienți și alte substanțe chimice importante, elimină materialele toxice și reziduale și transmit informația în genele responsabile cu aceasta.

Arabidopsisul pare a fi dotat în plus cu gene speciale pentru menținerea integrității tuturor celorlaltor gene și pentru repararea acestora atunci când este necesar. Se pare că acestea reprezintă o reminiscență de acum 100 de milioane de ani, când un strămoș al plantei arabidopsis și-a duplicat toți cromozomii într-o formă tetraploidă binecunoscută botaniștilor de la alte plante. Mai târziu, acești strămoși ai arabidopsisului au revenit la forma normală diploidă, fără a pierde însă toate genele duplicate.

Peste 3 000 de componente ale genomului reprezintă gene de control care reglează activitatea altor gene. Genele responsabile de alcătuirea internă a celulei și de activitatea diverselor ei componente au multe trăsături comune cu cele ale animalelor, deosebiri existând în cele asociate pereților celulelor vegetale. Diferențe semnificative apar la genele implicate în transformarea unui embrion într-un organism adult.

După ce strămoșii unicelulari ai plantelor și animalelor și-au urmat fiecare propriul drum, aceștia au inventat modalități diferite de organizare a dezvoltării organismelor pluricelulare. După cum era de așteptat, genomul de arabidopsis a revelat mai multe tehnici genetice inexistente la animale. Totuși, cele două descendențe adoptă soluții similare în ceea ce privește sarcina de a determina dispunerea și funcționarea corectă a celulelor, ținând cont de localizarea acestora în corp. În timp ce embrionii animalii se organizează de sus în jos utilizând secvențe de gene numite homeobox, plantele cu flori, cum este și cazul plantei arabidopsis, utilizează secvențe similare numite MADSbox, în scopul modelării verticilului floral al sepalilor, petalelor, staminelor și carpelilor.

Există alte gene care se ocupă cu formarea plantei ca un întreg și dispunerea frunzelor în scopul captării luminii necesare dezvoltării. Botaniștii explică acest proces, numit fotomorfogeneză, prin semnale primite de la senzori luminoși care transmit unor celule să se dezvolte, iar altora să stagneze. Însă din cele aproximativ 100 de gene alocate acestor funcții, activitatea a două treimi dintre acestea rămâne încă inexplicabilă.

O altă trăsătură distinctivă a plantei arabidopsis față de genomul animal este reprezentată de un set de 286 de gene care codifică enzimele purtătoare de fier, numite P450. Nu se cunosc cu precizie decât funcțiile unui mic număr dintre

aceste enzime. Probabil că ele reprezintă, la plante, însăși cheia producerii unei categorii imense de substanțe chimice și curative specifice pe care oamenii le extrag din ele.

Diferitele părți ale unei plante își comunică între ele informații privind starea vremii, resursele de apă, riscurile și așa mai departe. În caz de vătămare, se declanșează sisteme de alarmă care avertizează celelalte celule ale plantei. În mod diferit față de animale, plantele nu posedă un sistem nervos, însă ca și animalele, utilizează hormoni în calitate de mesageri chimici, ce modifică comportamentul celulelor care recepționează aceste mesaje. Botaniștii și biochimii fac eforturi intense pentru a descoperi cum funcționează aceste comunicații interne.

Hormonii plantelor includ auxinele, binecunoscute lui Charles Darwin, giberelina, etilena și brasinosteroidii – molecule steroide care conțin mai multe grupări hidroxilice (OH). Nu mai puțin de 340 de gene de arabidopsis sunt răspunzătoare pentru receptorii moleculari de pe membranele celulelor care detectează hormonii brasinosteroidii. Cu câteva excepții, funcțiile acestora sunt complet necunoscute. Poate că în această direcție mai mult decât în oricare altă genomul de arabidopsis oferă posibilitatea unor descoperiri importante.

● Continentele nedescoperite ale vieții plantelor

Dacă lui Cristofor Columb, mândru de descoperirea Indiilor de Vest, i-ar fi fost înmănată o hartă schițând întregul continent și insulele pe care Europa nici măcar nu și le putea imagina, cu siguranță că el s-ar fi simțit precum botaniștii la începutul secolului al 21-lea. Cu alte cuvinte, cine ar mai avea curajul să navigheze spre Australia sau să facă o expediție la Polul Sud?

Când genomul de arabidopsis a fost în întregime descifrat, numai 9% din genele sale aveau funcții cunoscute și verificate experimental. Un procent de 60% putea fi alocat în mod grosier funcțiilor cunoscute din alte organisme. Însă și în acest caz rămăneau peste 7 000 de gene enigmatice. Există indicii referitoare la sisteme de procesare biochimică integrală – numite popular căi metabolice – complet ignorate până în prezent. Identificarea tuturor proteinelor fabricate prin comenzi ale genelor și trasarea legăturilor prin care se reglează activitatea genelor reprezintă o sarcină imensă.

Un rol important îl au experimentele de tip clasic prin care genele sunt eliminate prin mutație iar efectele sunt observate pe plantele vii. Marea diferență constă în faptul că oamenii de știință nu mai au nevoie de utilizarea substanțelor chimice sau a radiației în vederea producerii mutației aleatorii care necesită timp pentru catalogare și analizare. Se poate ținti direct către o anumită genă, utilizând propriul ei cod ca pe o parolă, și să se elimine astfel exact acea genă. Acest proces poartă numele de mutagenză direcționată.

Maarten Koornneef de la Wageningen nu s-a implicat niciodată în mod direct în activitatea de secvențiere a plantei arabidopsis. El s-a concentrat asupra funcțiilor

genelor plantei în interacțiunile complexe care determină inflorescența, semințele și calitatea plantei, precum și în reacțiile acesteia la stres. Când această muncă de secvențiere a luat sfârșit, interesul general a revenit asupra funcțiilor plantei arabidopsis.

„Credeam că ne descurcăm chiar bine acum 20 de ani, când am localizat 76 de gene de arabidopsis”, a spus Koornneef. „Acum avem codurile a mii de gene a căror funcționalitate nu o cunoaștem. Cu atât de multe mistere încă nedeazăluite din viața plantelor, noile generații de studenți vor avea parte de numeroase aventuri cu micuțul arabidopsis”.

- *Pentru descoperirile cele mai recente privind procesele evoluției, realizate cu ajutorul arabidopsisului, vezi BOLILE PLANTELOR, MONȘTRII OPTIMIȘTI și GENOMURI. Pentru informații despre un mecanism dezvăluit de arabidopsis, vezi ÎNFLORIREA. Pentru informații despre genomul orezului, vezi CEREALELE. Pentru informații generale despre decodificarea genelor, vezi GENE și GENOMUL UMAN.*



ARBORELE VIEȚII

Bacterii eterogene și cursul evoluției

UN IAZ CU APĂ STĂTUTĂ era un subiect perfect pentru Lynn Margulis, o tânără specialistă în biologie de la Universitatea din Boston, în lungile ei discuții despre micile bacterii verzi care pot pune sub semnul îndoielii noțiunea obișnuită de iaz frumos. Favoritele ei erau cele de culoare verde-albăstrui, cunoscute sub denumirea de alge, dar care de fapt erau bacterii, și care au jucat un rol important în orientarea cursului vieții pe Pământ.

Margulis a devenit cea mai activă și stăruitoare susținătoare a ideii că oamenii descind din creaturi bacteriene care s-au grupat simbiotic în trecutul îndepărtat. Alții s-au jucat cu această afirmație, dar ea a susținut-o cu tenacitate. În anul 1970 a publicat cartea intitulată *Originea celulelor eucariote (Origin of Eukaryotic Cells)*, iar în anul 1981 a urmat *Simbioza în evoluția celulei (Symbiosis in Cells Evolution)*. Acestea sunt acum considerate drept cărți fundamentale pentru biologia secolului al 20-lea, iar cuvintele cheie din titlurile lor – eucariot și simbioză – reprezintă miezul problemei.

Suntem proprietarii celulelor eucariote. Fiecare dintre miliardele de unități microscopice din care suntem alcătuiți apără purtătorii informației ereditare – genele – în cadrul unui nucleu, sau, în grecește, *karyon*. Astfel, din cea mai largă clasificare a vietăților în două categorii, noi aparținem diviziei numite eucariote. Aceasta ne grupează împreună cu alte animale, plante, ciuperci și organisme unicelulare, numite protoctiste, într-un ansamblu reprezentat de 250 000 de specii în viață și deseori având o natură echivocă.

Cea de-a doua mare grupă de vietăți, procariote, este reprezentată de organisme unicelulare, iar genele plutesc în interiorul lor. Primele forme de viață de pe planetă au fost toate de acest tip relativ simplu, adică bacterii și organisme unicelulare asemănătoare numite archaea. Ele au condus lumea timp de jumătate din istoria ei, până când au apărut eucariotele.

Simbioză înseamnă a trăi împreună. Afirmatia în sprijinul căreia Margulis a adus la început toate dovezile disponibile este că bacteriile mici s-au instalat în interiorul celor mai mari – cele numite archaea –, formând astfel strămoșii eucariotelor. În loc să digere pur și simplu intrușii, celulele mai mari i-au tolerat ca locatari pentru că le aduceau beneficii.

Rezultatul a fost echivalentul microscopic al sirenelor sau centaurilor. „Celulele creierului uman care au conceput aceste ființe sunt ele însele himere”, scriau Margulis și fiul ei, Dorion Sagan, „nu mai puțin fantastice fuziuni ale mai multor tipuri, cândva independente, de procariote care au evoluat împreună”.

Organitele de formă ovală din celulele noastre, numite mitocondrii, sunt uzine energetice care folosesc oxigen pentru a genera energie chimică din substanțele nutritive. Arată la fel ca bacteriile, își transportă propria materie genetică în soluție apoasă și se reproduc la fel ca bacteriile. Același lucru este valabil și pentru cloroplaste, mici entități verzi care se găsesc în celulele din frunzele plantelor. Ele absorb lumina solară și utilizează apa și dioxidul de carbon pentru a produce molecule bogate în energie, care asigură viața și creșterea plantei.

● O poveste despre regnuri

În scenariul lui Margulis, strămoșii mitocondriilor și ai cloroplastelor au fost într-adevăr bacteriile care și-au instalat rezidența simbiotică în interiorul altor ființe unicelulare. Strămoșii mitocondriilor au fost bacterii care au învățat să reziste oxigenului. Când acel element a apărut pentru prima dată liber în străvechea mare, el a reprezentat un pericol mortal, ca și cum s-ar fi turnat înălbitor peste comunitățile archaeo-bacteriene. Astfel, bacteriile care s-au adaptat la el au putut să ofere gazdelor lor protecție împotriva oxigenului și, de asemenea, capacitatea de a-l folosi pentru noi moduri de viață.

Celulele verzi-albastrii, numite oficial cianobacterii, au fost strămoșii cloroplastelor. În existența lor bacteriană individuală, au descoperit întâmplător cea mai eficientă modalitate de folosire a luminii solare în scopul dezvoltării. Acest lucru

implica descompunerea apei și eliberarea oxigenului, de aceea celulele verzi-albăstrui au fost probabil responsabile pentru criza oxigenului. Dar această fotosinteză inteligentă a oferit în același timp gazdelor capacitatea de a-și asigura propriile resurse de hrană.

Celula-gazdă împreună cu mitocondriile au dat naștere strămoșilor fungilor și ai protoctistelor. Cele din urmă cuprindeau o categorie care se distingea prin capacitatea de a înota, și din care au provenit animalele pluricelulare. Celula-gazdă, împreună cu mitocondriile și cloroplastele au creat algele unicelulare, printre acestea aflându-se și strămoșii plantelor pluricelulare.

Anumite aspecte ale scenariului sunt încă dezbătute. Incert este, în special, modul în care toate aceste celule au reușit să-și organizeze nucleele și modul în care și-au perfecționat diviziunea celulară de tip eucariot folosită în multiplicare, creștere și fecundare. Originea capacității de mișcare la protozoare și posibila ei supraviețuire sub forma cozii înotătoare a spermatozoizilor sunt, de asemenea, controversate.

Scenariul și circumstanțele poveștii despre simbioză sunt totuși acceptate acum. Nu doar ca o chestiune de preferință, ci datorită dovezilor. Înrudirea bacteriilor identificabile cu mitocondriile și cloroplastele este confirmată prin asemănările dintre moleculele lor. Urmele fosile ale eucariotelor timpurii sunt foarte puține până în urmă cu 1 200 de milioane de ani, dar codurile moleculare sugerează originile în urmă cu aproximativ 2 miliarde de ani, în perioada când oxigenul liber devenea o provocare majoră pentru viață.

În anul 1859 Charles Darwin descria „un extraordinar Arbore al Vieții, care umple scoarța Pământului cu ramurile sale rupte și moarte și acoperă suprafața acestuia cu ramificațiile sale frumoase și vii”. Prin aceasta savantul se referea la un arbore genealogic al tuturor speciilor, astfel încât toate speciile, atât cele vii cât și cele dispărute, să poată fi plasate în pozițiile lor interdependente, după gradul de înrudire, pe ramurile sale. Conform cunoștințelor din acea vreme, regnul vegetal și cel animal dominau arborele. Teoria simbiozei redefineste ramurile principale ale arborelui, adăugându-le mai multe regnuri.

Bacteriile și archaea, uneori considerate împreună drept procariote sau monera, se situează foarte aproape de baza arborelui, corespunzătoare apariției vieții pe Pământ. La jumătatea arborelui, simbioza a introdus acei microbi atât de speciali și minunați, numiți protoctiste, care includ amibe unicelulare asemănătoare animalelor și algele asemănătoare plantelor. Alte protoctiste, cu trăsături variate care sunt greu de clasificat, reprezintă experimente evidente de simbioză. Unul dintre cele mai importante exponate ale lui Margulis, un microb în formă de barcă găzduit în tractul digestiv al termitelor din Australia, a recrutat 300 000 de bacterii șerpuite pentru a vâsli la unison la fel ca sclavii la galere.

Calitatea de membru al regnurilor animal și vegetal este, în acest nou arbore, conferită organismelor pluricelulare, excluzând astfel amibe și alte protoctiste.

Organismele numite Fungi, care includ atât drojdiile și mucegaiurile cât și ciupercile, au un regn al lor. Astfel, ele se situează alături de animale și de plante, dar se disting de acestea prin lipsa embrionilor.

Reprezentanții regnului Fungi au un rol important în descompunerea plantelor moarte și în eroziunea pietrelor. Dar luând în considerare diversitatea protoctistelor, este neobișnuită această diferențiere a ciupercilor, cu un statut special. Cum rămâne cu algele, care astăzi domină viața pe cea mai mare parte a suprafeței Pământului – respectiv stratul superior al vastelor oceane?

● Sex bacterian și transfer de gene

Pe măsură ce oamenii de știință descoperă cursul evoluției cu mai multă precizie ca niciodată, acesta devine tot mai confuz. În concepția lui Darwin, și încă timp de 100 de ani după el, ramurile și crenguțele arborelui evoluționist al vieții au reprezentat linii distincte de descendență. Dacă diferite ramuri își găsesc originea în strămoși comuni, aceștia au existat în trecut, iar după ei cărările ereditare au fost complet diferite. Acest lucru a fost presupus garantat de faptul că orice împerechere între specii diferite era sterilă.

Organismele clasificate, grupate și denumite în funcție de asemănări și deosebiri, atârnavau în arborele vieții darwinian precum cadourile în pomul de Crăciun. Fiecare era la locul lui, cu eticheta în limba latină atașată. Dar un oaspete bacterian dintr-o celulă simbiotică introduce gazdei o moștenire provenită dintr-o cu totul altă parte a arborelui. De acum, genele nu mai circulă de-a lungul unei ramuri. Ele pot călători de-a curmezișul din ramură în ramură, se pot întinde ca o beteală. Unii oameni de știință numesc acest fenomen transfer lateral, alții orizontal, de gene.

Oare a fost acest transfer de gene un eveniment rar? Dacă ar fi implicat numai în apariția celulelor moderne de tip eucariot, cu 2 miliarde de ani în urmă, el ar putea fi considerat ca fiind un rar calambur istoric. Dar chiar și înainte de proclamarea de către Margulis a simbiozei evoluționiste, apăruseră în spitale transferuri de gene contemporane între descendențe diferite.

După apariția antibioticelor în medicină, în anii 1940, medicii au fost îngroziți de rapiditatea cu care descendenții unor bacterii dăunătoare au reușit să păcălească miraculoasele leacuri. Farmacologii sunt încă într-o luptă continuă în care fiecare antibiotic nou întâlnește neîntârziat tulpini rezistente. Spitalele au devenit fabrici de supermicrobi în care pacienții pot muri, dacă nu din cauza propriilor infecții, atunci datorită antibioticelor toxice ce le sunt administrate în ultimă instanță.

Nu oamenii sunt cei care au inventat antibioticele. Acestea sunt otrăvuri străvechi folosite în conflictele dintre microbi. În Anglia, în timpul celui de-Al Doilea Război Mondial, pionierii terapiei cu penicilină pur și simplu au recoltat materialul din culturile de mucegai foarte rezistente. Din punctul de vedere al bacteriilor, aceasta nu era o provocare fără precedent, iar unele aveau deja genele care le-au conferit rezistență.

A se dezvolta sau a pieri, aceasta era alternativa – iar bacteriile au ales să se dezvolte cu o viteză uimitoare, distribuind genele rezistente la antibiotice ca niște agenți de asigurări. Genele pot trece dintr-o bacterie într-alta, chiar dacă aparțin unor descendențe sau specii diferite. Ca o formă primitivă de comportament sexual, o bacterie pur și simplu injectează gene într-o bacterie vecină. Un virus care invadează o bacterie poate lua o genă de acolo și să o transfere altei bacterii. Sau o bacterie poate pur și simplu să înghită genele răzlețe eliberate de o celulă moartă.

Nu doar bacteriile sunt organisme deschise transferului de gene, prin intermediul unei inginerii genetice naturale. La animale, o genă poate fi transcrisă într-un virus ARN, care nici măcar nu folosește ADN-ul obișnuit în codul său genetic, iar apoi poate fi tradusă înapoi în ADN, atunci când virusul infectează o nouă celulă. Din nefericire, unele gene transferate prin această transcriere inversă pot cauza boli foarte grave.

În timp ce preocupările medicale s-au intensificat datorită acestor descoperiri, biologia fundamentală era oarecum dezorganizată. Ipoteza inițială a fost că organismele seamănă cu părinții. Orice modificări ale genelor au apărut prin mutații în interiorul organismului și au fost transmise prin procesele normale de reproducere. Se presupunea că evoluția a adus numeroase schimbări unei descendențe ancestrale care era în principiu, dacă nu chiar totdeauna în practică, în mod clar determinabilă. Originea simbiotică a celulelor noastre, bacteriile genetic eterogene și, de asemenea, transcrierea inversă, au demonstrat că aceste supoziții sunt naive.

Cât de importante au fost aceste transferuri de gene în istoria evoluției? Răspunsul la această întrebare trebuia să aștepte până când specialiștii în biologie moleculară studiau complet arborele vieții și terminau de examinat seturile complete de gene – genomurile – ale animalelor, plantelor și microbilor din zilele noastre. Abia apoi ei puteau începe să urmărească evoluția genelor individuale, întorcându-se în timp până la originea lor.

● Cercetare fără fosile

Ideea că am putea descoperi cursul evoluției din studiul moleculelor a apărut în jurul anului 1960. Acest lucru s-a întâmplat când Brian Hartley de la Laboratorul de Biologie Moleculară din Cambridge a observat că otrava asemănătoare gazelor toxice de luptă cu acțiune asupra sistemului nervos a blocat acțiunea unei mari varietăți de proteine active – enzimele –, pe lângă cele implicate în controlul mușchilor prin nervi, care au fost ținta principală a agenților toxici. El a bănuit că diferitele proteine au o origine genetică comună.

Analizele cu raze X au arătat cum erau formate diversele proteine, lucru care a confirmat această idee. De exemplu, s-a dovedit că trei enzime implicate în digestia umană, tripsina, chimotripsina și elastaza, au structuri foarte asemănătoare. Alți oameni de știință au comparat proteinele care aveau aceeași funcție, dar la specii diferite.

Richard Dickerson de la Caltech a studiat citocromul C, care apare la toate plantele, animalele sau ciupercile existente ca enzimă care se ocupă de oxigen. Pentru a acționa corect, aceasta trebuie să aibă aceeași regiune activă corect configurată, alcătuită dintr-o anumită succesiune de subunități, aminoacizii, în lanțul proteic. Dar părțile neesențiale ale moleculei pot varia, iar Dickerson a descoperit că prin numărarea diferențelor dintre o specie și alta poate spune cât de înrudite sunt acestea. De exemplu, comparată cu citocromul C la porci, aceeași enzimă la găini se diferențiază prin 9 aminoacizi, la ton prin 17, iar la conopidă prin 47.

Aceasta era evoluția de supermarket. În loc să ciocănești pietrele înghețate, sau să rătăcești prin deșerturile dogoritoare în căutarea fosilelor, îți poți acum colecționa probele într-un coș la un magazin de cartier. Dacă te-ai fi simțit mai în formă, ai fi putut colecta o molie rătăcită sau o broască pentru a-ți extinde sfera investigației. Ai fi putut apoi să începi să construiești un arbore al vieții, cu ajutorul diferențelor dintre moleculele organismelor vii. Acesta ar arăta cu cât timp în urmă, relativ vorbind, aceste specii și altele au avut un strămoș comun.

Vânătorii de fosile au fost ofensați pe bună dreptate. Oamenii de știință au avut nevoie de ajutorul lor pentru a pune date pe arborele vieții. Pentru a ști cu câte milioane de ani în urmă găina și peștele au avut același strămoș, era nevoie de dovezi fosile din rocile unor epoci datate. Dar Dickerson se plânga, în 1972, că „zoologii, care cunosc cel mai bine informațiile despre date, se mențin sceptici și rezervați față de întregul efort reprezentat de studiul proteinelor”.

Rata modificării compoziției chimice în timpul evoluției diferă în mare măsură, de la o moleculă la alta, în funcție de cât de importantă este compoziția acesteia pentru scopul ei. De exemplu, la proteina histonă H4, componentele sale variază în proporție de 5% într-un interval de 2 500 milioane de ani, în timp ce fibrinopeptida se modifică de 800 de ori mai repede. Un nou capitol în studiul molecular al evoluției a început la mijlocul anilor 1970, odată cu studiile comparative între acizii nucleici speciali care sunt prezenți în echipamentul vital al fiecărei forme de viață, de la bacterii la balene.

Ribozomii sunt mecanismele utilizate de către celule pentru a prelucra proteinele, iar ei încorporează acidul ribonucleic ribozomal (ARNr). Acesta a devenit materialul predilect pentru a obține o viziune de ansamblu privind evoluția moleculară. Adeptul principal al acestuia, Carl Woese de la Urbana-Champaign, Illinois, menționa că acesta conține porțiuni atât lent evolutive, cât și rapid evolutive, astfel că se poate investiga întreaga poveste a vieții pe Pământ, sau ne putem orienta asupra detaliilor recente.

Unul dintre primele succese a fost confirmarea originii simbiotice a celulelor vegetale sau animale. Mitocondriile cu formă ovală, uzinele energetice ale celulelor, au ribozomi proprii cu descendențe individuale care conduc înapoi în timp, după cum s-a prezis, la bacteriile rezistente la oxigen. În mod asemănător, cloroplastele verzi și rotunde din plante au ribozomi înrudiți cu cei ai cianobacteriilor

verzi-albăstrui. Dar ribozomii universali din celulele plantelor și animalelor seamănă mai mult cu cei din archaea, organisme simple asemănătoare, dar considerate acum diferite de bacterii. Evident, celulele-gazdă mari, care au găsit loc pentru locatarii bacterieni, au aparținut aceluși tip.

● Numărarea genelor transferate

Dacă ar fi să ne încredem în arborele vieții alcătuit după acidul ribonucleic ribozomal, istoria altor molecule din același organism ar trebui să fie compatibilă cu el. Dar acest lucru nu se întâmplă întotdeauna. Analistii au descoperit că au obținut arbori diferiți pentru bacterii în funcție de ce componente moleculare au comparat, de la o specie la alta. Singura explicație a fost aceea că genele de la unele molecule au venit prin transfer, fie recent, fie în trecutul îndepărtat. Chiar și marea diferență dintre bacterii și archaea a fost compromisă de descoperirile privind schimburile extinse de gene între ele.

Pentru a lămuri această harababură, Carl Woese a analizat strămoșul universal, aflat la baza arborelui vieții. L-a vizualizat, nu ca pe un organism discret, ci ca pe o comunitate diversă de celule foarte simple care a supraviețuit și a evoluat ca o unitate biologică. Ratele mutațiilor genetice și ale transferului de gene au fost foarte ridicate la început, dar în mod gradat temperatura evoluționistă a scăzut.

„De-a lungul timpului”, scria Woese, „acest strămoș s-a perfecționat ajungând la un număr redus de tipuri de celule cu o complexitate tot mai mare, din care au rezultat strămoșii primelor trei grupări de organisme”. Prin acestea, el se referea la bacterii, archaea și eucariote. Schimburile de gene au fost după aceea mult mai puțin frecvente, spunea el, iar „dinamica evoluționistă a devenit acea trăsătură care caracterizează celulele moderne”.

Tot mai multe dovezi demonstau totuși că transferurile de gene între specii au continuat și în evoluția recentă. Când genomul complet al bacteriei intestinale numite *Escherichia coli* a fost complet descifrat, Jeffrey Lawrence de la Pittsburgh și Howard Ochman de la Rochester căutau gene străine. Ei au anunțat că nu mai puțin de 18% dintre genele bacteriei au fost obținute din cel puțin 234 de transferuri în timpul ultimilor 100 de milioane de ani. Acestea nu erau doar diverse achiziții. Ele includeau genele responsabile pentru apetitul special al *Escherichiei coli* pentru lactoză și citrat.

Printre specialiștii în evoluția moleculară a izbucnit o dezbatere aprinsă. În anul 1999, Ford Doolittle de la Universitatea Dalhousie din Canada declara că înseși conceptele de specie și descendență erau învechite. Cea mai bună metodă, în opinia sa, era aflarea genelor care au circulat împreună și pentru cât timp, în ce genomuri, fără a fi obligați să triem datele în favoarea unei anumite scheme evoluționiste.

Posibil ca noi principii ce așteaptă să fie descoperite să explice cum ajung genele să fie distribuite între genomuri. Doolittle a invitat biologii să ia în considerare faptul că organismele reprezintă fie mai mult, fie mai puțin decât suma genelor

lor și „să se bucure și să exploreze, în loc să regrete sau să renunțe la a explora rolul evoluționist creator al transferului lateral de gene”.

Deși a atras atenția asupra faptului că acest fenomen ar putea fi mai rar la animale și la plante, unii entuziaști ai noii viziuni au fost gata să pună sub semnul îndoielii definiția speciilor chiar și din aceste regnuri. Printre oamenii de știință care au reacționat puternic a fost Charles Kurland de la Uppsala. El a protestat, spunând că „în știință, nimic nu este mai autoproclamativ decât afirmația că «tot ce a fost înaintea mea a fost greșit»”.

Importanța transferului de gene în evoluția microbilor nu a mai fost pusă sub semnul îndoielii, dar Doolittle a avut un motiv foarte bun pentru a se îndoii de importanța acestuia la animale și la plante. Acestea sunt organisme pluricelulare, cu organizații corporale complicate care ar putea fi ușor distruse de gene intruse. Faptul că animalele și plantele se reproduc deseori sexuat ridică, de asemenea, un zid înalt în fața genelor străine, care vor fi moștenite în modul normal doar dacă pătrund printre genele purtate de ovul sau de spermatozoid.

Evenimente rare ar putea totuși deveni semnificative dacă sunt urmărite pe perioade mai mari de timp. Atunci când schițele întregului genom uman au devenit disponibile în anul 2001, evoluționiștii moleculari s-au năpustit asupra lor. Ei căutau gene străine care ar fi putut fi introduse din bacterii, de-a lungul a 500 de milioane de ani de evoluție, la animalele vertebrate.

Teoria inițială a fost că bacteriile au introdus peste 200 de gene umane, dar acestea au fost curând reduse la aproximativ 40. Unii cercetători au considerat că și acestea, la rândul lor, ar putea dispărea de pe listă pe măsură ce se continuă comparațiile cu rudele îndepărtate ale animalelor. Chiar dacă primul număr ar fi fost corect, orice influx de gene bacteriene ar fi fost foarte mic, comparativ cu transferurile între bacterii.

În lumina unei astfel de dovezi, Doolittle, împreună cu colaboratorii săi menționează că „pluricelularismul nostru ne-a împiedicat probabil să participăm la acea afacere murdară care este transferul lateral de gene, atât de îndrăgit de microbi”. Ei și-au ales ca teren de luptă, pentru a demonstra importanța transferului de gene, eucariotele unicelulare – ciupercile, drojdiile și diversele protoctiste, de la jumătatea arborelui vieții.

Astfel, la începutul secolului al 21-lea, biologia trebuie să ia în considerare modurile contrastante de evoluție de-a lungul istoriei vieții. La bază, și demult dispărut, se află strămoșul universal, cuprinzând un superorganism de celule insuficient definite, care au făcut schimb liber de gene. În vârful arborelui vieții, ramuri robuste de familii, genuri și specii de plante și de animale, păstrează cele mai familiare trăsături ale viziunii lui Darwin, cu doar o mică, dar totuși persistentă, infecție cu gene transferate.

Trunchiul arborelui, reprezentând cea mai mare parte a istoriei vieții pe Pământ, se clatină. În locul bătrânului lemn de esență tare se află acum o țesătură încâcită de microbi în evoluție – bacterii, archaea și eucariote unicelulare. Se aseamănă

cu superorganismul original în privința obiceiului său de a face în mod continuu schimb de gene. Dar trunchiul prezintă, de asemenea, o rezistență prelungită a clusterelor de gene în tipurile microbiene, care pun în umbră descendențele și ramurile mai evidente din evoluția plantelor și a animalelor. Acest mod de evoluție microbială continuă până în ziua de azi.

Prin urmare, un arbitru neutru ar putea declara remiză în lupta dintre tradiționaliști și revoluționarii transferului de gene. Sprijinit de dovada genomului uman, primul grup și-a păstrat prețioasa viziune asupra evoluției, cu privire la animale și la plante. Cu toate acestea, revoluționarii au adunat suficiente dovezi conform cărora evoluția microbială are o natură diferită și necesită o nouă teorie care să o explice.

Discuțiile sunt obligate să continue la interfața celor două viziuni, în special referitor la eucariotele unicelulare. Pot ele fi într-adevăr, cu celulele lor foarte bine organizate, la fel de eterogene ca bacteriile? Și pentru a-i pune din nou în încurcătură pe oamenii de știință, apar tot mai multe dovezi privind ereditatea moleculară care nu implică genele. Rămâne de văzut dacă aceasta va deforma și mai mult arborele vieții.

- *Pentru a afla mai multe despre schimbările moleculare de-a lungul timpului, vezi EVOLUȚIA MOLECULELOR. Pentru mai multe informații despre un punct important de ramificație al arborelui vieții, vezi EXPLOZIA CAMBRIANĂ. Pentru mai multe informații despre organisme verzi-albastrii, vezi FOTOSINTEZA și ENZIMELE GLOBALE.*

ARMELE NUCLEARE

O cursă disperată

PRINTRE VIILE DE LÂNGĂ FLORENȚA, un cimitir militar american conține rămășițele a peste 4 000 de tineri, printre care și pe ale soldatului clasa întâi Joe Wheeler. El a fost un istoric devenit infanterist în divizia Blue Devils (Diavolii Albaștri). După ce a participat la eliberarea Romei, în vara anului 1944, și-a pierdut viața în toamna aceluiași an, în timpul înverșunatei lupte din Apeninii de Nord. Cu puțin timp înainte, îi trimisese o telegramă fratelui său în SUA. Tot ce a scris a fost: „Grăbește-te!”

„De câte ori vizitez mormântul lui Joe îmi amintesc că el este unul dintre cei mulți – unul din multe milioane de militari și civili – ale căror vieți ar fi putut fi cruțate dacă aliații ar fi lansat bomba atomică un an mai devreme”, avea să scrie fratele său mai târziu. „Joe a sperat să se descopere un mijloc miraculos de a pune capăt acestui război îngrozitor.”

John Wheeler era fizician teoretician la Princeton. La moartea fratelui său Joe, el se afla la Hanford, în statul Washington, ocupându-se de producția în masă a unei forme speciale a unui element nou, plutoniul-239. Chiar înainte de război, împreună cu Niels Bohr de la Copenhaga, Wheeler dezvoltase prima teorie ce descria fisiunea nucleară, care fusese descoperită la uraniul-235. Ei au identificat al 94-lea element chimic, după cum l-au numit ulterior, ca un alt element ce s-ar putea diviza.

Ceea ce l-a mâhnit pe Wheeler a fost timpul pierdut după august 1939, momentul în care un refugiat evreu, Albert Einstein, i-a trimis o scrisoare lui Franklin Roosevelt. Acesta îi prezenta președintelui american posibilitatea construirii unei puternice bombe ce folosea fisiunea nucleară, și îi semnala interesul evident al germanilor pentru rezervele de uraniu. Dar a fost nevoie de mai multe impulsuri, atât din partea lui Einstein cât și a englezilor, care primeau un solid sprijin tehnic din partea altor fizicieni refugiați. Construirea bombei nu a început efectiv decât după lansarea Proiectului Manhattan, în iunie 1942.

Numeroșii fizicieni remarcabili care s-au alăturat proiectului știau că produceau o armă teribilă. După cum își amintește Wheeler, motivele lor nu erau lipsite de onoare. Exista o temere rațională că Werner Heisenberg și alți colegi inteligenți din Germania se străduiau să producă o bombă atomică pentru Hitler. Și cu cât

era mai înspăimântătoare bomba, cu atât creșteau șansele ca ea să facă acel miracol pentru Joe Wheeler și camarazii săi, și să pună capăt războiului.

Așa s-a și întâmplat. În august 1945 o bombă cu uraniu a nimicit Hiroshima, iar un dispozitiv cu plutoniu a făcut la fel cu orașul Nagasaki, câteva zile mai târziu. Japonezii s-au predat. Milioane de vieți, care altfel ar fi fost pierdute de ambele părți, într-o invazie pe mare a ultimelor puteri ale Axei, au fost astfel salvate. Conform standardelor ulterioare, armele folosite erau firave, dar îngrozitoare efecte ale exploziei, căldurii și radiației atomice asupra țințelor urbane și a locuitorilor lor au fost evidente pentru toată lumea. S-au iscat dispute înverșunate între savanții atomiști, referitoare la necesitatea lansării bombelor în locuri în care provocau atât de multe victime printre civili.

Investigațiile și ipotezele cu privire la ce ar fi fost capabili să facă Heisenberg și echipa sa pentru a produce o bombă pentru Hitler au continuat decenii întregi. Chestiunea a mai fost o dată abordată în 1998, de încântătoarea piesă a lui Michael Frayn, *Copenhaga*, care pune în scenă o vizită din timpul războiului a lui Heisenberg făcută lui Bohr. De fapt, n-a existat niciun mister sau mușamalizare. În 1947, Heisenberg a declarat cu sinceritate unui reporter britanic, Chapman Pincher, că ar fi făcut cu siguranță bomba, dacă ar fi putut.

El a hotărât că nu mai era destul timp până la sfârșitul războiului, care se aștepta să fie câștigat de Germania. Împreună cu o echipă mică, Heisenberg a început să lucreze la un motor atomic pentru a produce energie, și i-a schițat reporterului reactorul de apă grea pe care îl plănuia. Sabotarea uzinei producătoare de apă grea din Norvegia a fost o lovitură pentru el, iar incompetenții savanți naziști i-au îngreunat și ei munca. „Interviul meu, împreună cu schița lui Heisenberg, a apărut pe prima pagină din *Daily Express*”, s-a plâns Pincher mai târziu, „și a generat surprinzător de puține comentarii”.

● „Riscul morții universale”

Imediat a urmat o bombă de 1 000 de ori mai puternică decât cele folosite împotriva Japoniei. Ea folosea fisiunea unui element greu pentru a genera energia necesară fuziunii elementelor ușoare. Deja motivul nu mai era competiția cu germanii sau oprirea războiului, ci menținerea în fruntea opoziției, în confruntarea postbelică dintre foștii aliați din Occident și Blocul Comunist. Se spunea că scopul este intimidarea – producerea de arme atât de înspăimântătoare încât nimeni n-ar îndrăzni să le folosească. Savanții care se îndoiau că era înțelept ca focul Soarelui să fie lăsat liber pe Pământ, așa cum a făcut Robert Oppenheimer în SUA, erau pasibili de a fi considerați potențiali trădători.

Deși a fost numită „bombă cu hidrogen” sau „bombă-H”, hidrogenul obișnuit nu era eficient. Combustibilul ales a fost deuterid de litiu-6. Acesta este un compus al hidrogenului greu – deuteriu sau hidrogen-2 – cu o formă anume a celui mai ușor metal. Litiul-6 se descompune în reacția nucleară pentru a produce tritium sau

hidrogen-3, care apoi reacționează foarte puternic cu deuteriul. Sunt eliberați și mulți neutroni, particule nucleare neutre, dar rezultatul net este că litiul-6 și hidrogenul-2 produc două nuclee de heliu-4, degajându-se o cantitate uriașă de energie.

Spionii au informat Uniunea Sovietică despre Proiectul Manhattan din timpul războiului și despre competiția postbelică a armelor nucleare dintre foștii aliați, începută înainte de încheierea războiului, în 1945. Un tânăr student de 24 de ani, Andrei Saharov, care nu știa încă nimic despre toate acestea, era aproape să leșine când, ieșind să-și cumpere pâine într-o dimineață, a auzit vestea despre Hiroshima. „Ceva nou și teribil a pătruns în viețile noastre, un produs al celei mai de seamă științe, al disciplinei pe care am venerat-o.”

În câțiva ani, Saharov a fost recrutat pentru a se alătura efortului oamenilor de știință sovietici de a ține pasul cu SUA în crearea unei bombe-H. Nimeni nu l-a întrebat dacă era de acord să participe, dar Saharov a recunoscut: „concentrarea, implicarea totală și energia pe care le-am acordat proiectului au fost ale mele”. El a propus imediat primul proiect pentru o bombă-H, în 1948, și încă unul, cu un design mult mai elegant, cinci ani mai târziu.

În 1955, Saharov cerceta efectele unui test sovietic cu bomba-H. În memoriile sale, a scris: „Când vezi păsările arse care se sting în stepa pârjolită, când vezi cum undele de șoc pun la pământ clădirile de parcă ar fi castele de cărți de joc, când simți mirosul cărămizilor făcute țandări, când simți sticla topită, te gândești imediat la război... Și, în astfel de momente, cum să nu te gândești la propria responsabilitate?” Erau primele semne ale dizidenței politice pe care Saharov avea să o adopte ulterior.

Tot în 1955 a murit și Einstein. Cu doar două zile înainte, el a semnat un manifest redactat de Bertrand Russell la Londra. Acesta recunoștea implicațiile ce vor exista atâta timp cât oamenii își vor menține controlul asupra enormei energii latente în materie. „Facem apel ca oameni, la oameni: țineți mine calitatea de om și uitați restul! Dacă puteți face acest lucru, vă aflați pe drumul spre Paradis, dacă nu, în fața voastră se află riscul morții universale.”

După Manifestul Russell-Einstein, fizicienii din Est și din Vest s-au străduit să prevină războiul nuclear întâlnindu-se în secret în fiecare an la Conferințele Pugwash. Acestea purtau numele primului loc în care au avut loc, în Noua Scoție, în 1957. În toiul Războiului Rece, aceste întâlniri ofereau un canal neoficial pentru negocierile dintre Est și Vest asupra controlului armelor nucleare. Organizatorul Conferințelor Pugwash era Joseph Rotblat din Londra, un savant refugiat, de origine poloneză, implicat în construcția bombelor și care ulterior a devenit specialist în fizica medicală.

Când nu a mai trebuit să fie diplomat, Rotblat a criticat cu vehemență contribuțiile colegilor săi la pregătirile pentru Armageddon. „Într-o mare măsură, cursa armelor nucleare a fost declanșată de oamenii de știință”, scria el. „Ei sunt cei care au continuat să proiecteze noi tipuri de arme, nu pentru că li s-a cerut –

arsenale de o sută de ori mai mici ar fi fost de ajuns pentru orice scop de intimidare –, ci ca să-și satisfacă egourile exacerbate sau pentru intensă euforie experimentată în timpul explorării noilor concepte tehnice.”

Un moratoriu american privind testarea armelor nucleare, începând cu anul 1992, a provocat nemulțumire printre producătorii de bombe. Un antropolog, Hugh Gusterson de la Institutul de Tehnologie Massachusetts, a investigat reacțiile la Laboratorul Național Lawrence Livermore. „Tinerii au această nostalgie disperată că au pierdut ceva important”, spunea Gusterson. „În zilele noastre, unii merg cu cortul la sfârșitul săptămânii în zonele de teste nucleare din Nevada. Este un fel de loc de pelerinaj pentru ei.”

● De la intimidare la „lansarea la semnalul de alarmă”

După Nagasaki, s-a interzis folosirea armelor nucleare, deși era cât pe ce să fie încălcată această convenție în timpul crizei rachetelor nucleare din Cuba, în 1962. Uniunea Sovietică a plănuț să-și instaleze rachetele nucleare în Cuba, foarte aproape de Florida, ca răspuns la amplasarea proiectilelor americane în Turcia. America a interzis acest lucru, și toată lumea a stat cu sufletul la gură până când un cargou sovietic aflat în drum spre Cuba a făcut o întoarcere de 180 de grade. Amplasarea armelor nucleare americane în Turcia a încetat în secret.

Deosebit de înspăimântate, ambele părți din competiția armelor au aderat la o doctrină a intimidării numită distrugerea reciproc asigurată, sau MAD (mutually assured destruction). Dar prospera Europă de Vest a refuzat să egaleze Blocul de Est în diviziile de tancuri, și s-a bazat pe varianta mult mai ieftină de a promova un prag scăzut de folosire a armelor nucleare în cazul unei invazii. Această politică a întins doctrina până la limita credibilității. Iar strategii au fost îngrijorați de reacția Uniunii Sovietice în sprijinul aliaților săi arabi, dacă Israelul ar detonă armele sale nucleare nu chiar atât de secrete.

În 1980, distrugerea reciproc asigurată nu mai funcționa între marile puteri. Pericolul nu mai venea dintr-o anumită criză, cum a fost cea din Cuba, ci din dezvoltările tehnologice care au deschis treptat o perioadă de instabilitate cronică. Orice neînțelegere, furie sau teamă ascunsă relativ la intențiile celeilalte părți ar fi putut arunca America de Nord și Eurasia înapoi în epoca de piatră.

Apariția rachetelor intercontinentale de mare precizie, împreună cu tentativele ferme de a detecta submarinele inamicilor, a creat ceea ce Departamentul American al Apărării a recunoscut sincer că era o situație instabilă. Dacă doar bănuiai că exista pericolul să izbucnească un război nuclear, mai bine lansai rachetele înainte ca buncărele și submarinele lor să fie distruse. „Lansare la semnalul de alarmă”, așa se numea această atitudine strategică, care presupunea adoptarea unor decizii în interval de câteva minute de la apariția oricărui lucru neobișnuit pe ecranele radarelor.

În acea vreme, un analist de seamă al strategiei sovietice, John Erickson de la Edinburgh, a raportat „o preocupare aproape morbidă despre cum să nu fii

surprins”. El a estimat că Uniunea Sovietică avea 1 200 de ținte nucleare strategice doar în Europa de Vest. Între timp, SUA avea un asemenea excedent de arsenal nuclear încât listele lor cu ținte cuprindeau câmpii pustii din Rusia care puteau fi folosite ca piste de aterizare improvizate. Prin Moscova circula chiar o glumă pe seama acestei situații:

Ilya: Ce o să faci când se va da alarma?

Ivan: O să mă învelesc într-un cearșaf și o să merg încet spre cimitir.

Ilya: De ce încet?

Ivan: Pentru că nu am vrea să creăm panică, nu-i așa?

Programul american Războiul Stelelor, sau Inițiativa de Apărare Strategică, a fost oferit ca o portiță de scăpare de imperativele lansării la semnalul de alarmă. O mai bună apărare antirachetă, se spunea, ar acorda mai mult timp de gândire. În Moscova, părea o modalitate de a permite SUA să atace fără represaliile asigurate, ce se presupunea că erau garantate de un tratat care limita apărarea antirachetă. În orice caz, se părea că Uniunea Sovietică nu putea concura în această fază costisitoare a cursei armelor nucleare și, în 1988, un fizician rus i-a declarat unui reporter că „trebuie să înțelegeți că tocmai am pierdut un război”.

El se referea atunci la războiul rece. Edward Teller, co-inventator al bombei-H americane și cel mai înflăcărat susținător al ei, dorea să i se recunoască meritul. „Războiul rece”, a scris el, „a fost câștigat de existența și nu de folosirea unei arme noi, și fără nicio pierdere umană”. Dat fiind faptul că Uniunea Sovietică avea tot atâtea bombe-H – numărate cu atenție de sateliții spioni ce monitorizau tratatele de limitare a armelor – afirmația sa era greu de înțeles.

Tot ce se poate spune despre echipament este că a avut consecințe economice și politice. Pentru crearea și dezvoltarea sa s-a folosit o mai mare proporție din tezaurul național și din priceperea tehnologică din Uniunea Sovietică decât din mult mai bogatul Occident. Și aliații din Blocul de Est au avut de suferit greutăți apreciabile.

Cortina de Fier, unde soldații se înfruntau reciproc cu așa-numite arme nucleare tactice de-o parte și de alta a unei linii de falie geopolitice, nu era impenetrabilă pentru radio și televiziune. Adevăratul merit pentru încetarea acelei ere îngrozitoare a confruntării nucleare nu-i revine nici lui Teller, nici lui Saharov, ci cetățenilor de rând din Europa de Est care au sfidat poliția secretă, cerând libertate. În raport cu pericolele tot mai mari implicate de lansarea la semnalul de alarmă, victoria lor pe străzi a fost rezultatul unei curse foarte strânse.

● Numai să nu uităm...

Temerile referitoare la proliferarea și achiziționarea armelor nucleare de către tot mai multe țări și grupări teroriste au înlocuit teama de un război nuclear nebunesc între SUA și Rusia. La începutul secolului al 21-lea, vechilor puteri nucleare,

adică SUA, Rusia, China, Franța și Marea Britanie, li s-au alăturat Israelul, India și Pakistanul. Se presupunea însă că și alte țări încercau să achiziționeze armament nuclear.

Era binecunoscut faptul că Japonia și Germania puteau produce bombe aproape imediat, oricând doreau. După câte se părea, se abțineau s-o facă, deși le dispăcea o anomalie a Națiunilor Unite. Membrele permanente ale Consiliului de Securitate erau, exclusiv, „vechile” puteri nucleare – ca și când armele lor erau însemne adecvate și justificate ale autorității. Probabilitatea ca grupările teroriste și națiunile rebele să achiziționeze arme nucleare a dus la dezvoltarea, în SUA, a bombelor-buncăr de randament scăzut, proiectate să pătrundă adânc în pământ înainte să explodeze. Să fie doar un alt „amuzant” concept tehnic cu care se joacă fizicienii și inginerii? Sau o scădere a pragului de utilizare a armei nucleare care ar putea chiar legaliza intențiile teroriștilor?

Efectele înspăimântătoare ale bombardamentelor de la Hiroshima și Nagasaki, posibilitatea extinsă a unei distrugerii în masă iminente în timpul Crizei nucleare din Cuba, crearea adăposturilor împotriva precipitațiilor radioactive pentru mulțime și a buncărelor pentru Dr. Strangelove și apropiații săi – acestea erau aspecte din viața de zi cu zi a adolescenților și adulților între anii 1945 și 1989. Dar întrebarea rămâne aceeași, „Îi vor invidia supraviețuitorii pe morți?”

Cel mai îngrijorător pericol ar putea fi faptul că noile generații vor crește fără să știe ce înseamnă puterea armelor nucleare. Tinerii folosesc expresii cum ar fi „a distruge”, sau „a exploda de mânie”¹, fără să-și dea seama că acestea se referă la anihilarea țintelor nucleare sau la eliberarea a mii de rachete cu multiple focoaie în timpul unui război nuclear.

Unii experți sugerează de mult timp că o bombă-H ar trebui să explodeze în atmosferă o dată la câțiva ani, în fața liderilor lumii. Le-ar putea aminti ce înseamnă acum un echipament militar obișnuit. Chiar de la o distanță de 50 de kilometri ar simți, sau ar trebui să simtă, căldura ca și când s-ar deschide poarta Iadului.

- Pentru mai multe informații despre fizica nucleară sau despre puterea nucleară civilă, vezi **ENERGIA ȘI MASA**. Referitor la armele biologice de distrugere în masă, vezi **VARIOLA**.

¹ „go ballistic”, dublu sens în engleză: „a lansa proiectilele” și „a exploda de mânie” (în argou).



ASTRONAUTICA

spațiale de către nepoții lor?

Vor fi depășiți pionierii zborurilor

ÎN 1961, CHIAR ÎN ZIUA în care Iuri Gagarin devenea primul om care a zburat în spațiul cosmic, specialiștii în științe spațiale din întreaga lume se întâlneau la o conferință la Florența. De îndată ce vestea s-a răspândit, primarul Florenței a apărut la conferință pentru a oferi tuturor șampanie însă, spre surprinderea sa, în holul aproape pustiu nu a găsit decât câțiva eminente oameni de știință sovietici care discutau cu jurnaliștii alertați de către redacții. În sala de conferință, ceilalți își continuau discursurile monotone despre particulele ionizate din mediul interplanetar, fără a da vreo atenție știrii istorice.

„Noi suntem oameni de știință”, păreau să spună ușile închise ale sălii de conferință. „Nu ne interesează cascadoriile în spațiu”. Pentru reporterii mai atenți prezenți în sală, acest lucru a părut de-a dreptul grotesc. Științele spațiale au reprezentat de la bun început o căsătorie de conveniență între agențiile naționale care doreau să lanseze rachete și nave spațiale în scopuri militare și pentru prestigiu, și cercetătorii inteligenți, gata să confere o nouă semnificație acestei aventuri prin includerea pe nota de plată a tot mai multor aparate științifice.

În cazul în care vă întrebați ce legătură are zborul spațial cu prestigiul, răspunsul este că populația lumii și-a dat seama, cu mai multă claritate decât reporterii arțăgoși, de faptul că zborul spațial reprezintă începutul unei mari aventuri care va conduce într-o bună zi oamenii până la stele. Totuși, numai pentru cercetătorii plini de imaginație astrofizica a reprezentat o știință practică dedicată trasării itinerariilor cosmice.

Metodele de propulsie au variat de-a lungul mileniului, însă visul de a călători spre alte lumi a rămas neschimbat. Tornada care o transportă pe Dorothy din Kansas în Oz, din filmul *Vrăjitorul din Oz* (1939), este similară vârtejurilor care ridică farfuriile zburătoare ale lui Dumnezeu în primul capitol din Cartea lui Ezechiel (c. 590 î.Hr.) sau a celor care duc spre Lună nava cu vele a lui Lucian din Samosata, în *Vera Historia* (c. 160 d.Hr.).

Și mai original a fost scriitorul francez Cyrano de Bergerac în ale sale *Istorii Comice* publicate postum în 1655. El a descris călătorii spre Lună și spre Soare cu ajutorul rachetelor și al altor tehnologii. După cum a rezumat un istoric al

literaturii științifico-fantastice, David Kyle, „el a folosit magnetismul, energia Soarelui, exploziile controlate și principiul statoreactorului modern”.

Un biolog molecular, Sol Spiegelman de la Columbia, s-a gândit că ar fi instructiv să privească viitorul umanității prin prisma evoluției materialului nostru genetic, ADN-ul. Vorbind la scurt timp după ce Richard Dawkins de la Oxford, a popularizat acest punct de vedere în cartea sa *Gena egoistă* (1976), Spiegelman a observat că viața a ocupat deja toate nișele ecologice de pe planetă, ca apoi să inventeze ființele umane. „Nu am înțeles deloc de ce, până acum câțiva ani”, afirma el. „Apoi a devenit clar faptul că ADN-ul a inventat omul pentru a explora posibilitatea vieții extraterestre, în căutare de noi locuri unde să se reproducă.”

Ironie, Spiegelman a adăugat: „Genele au avut destulă grijă să nu facă omul atât de deștept pentru a-și crea o existență ideală pe această planetă și chiar să o polueze suficient pentru a-l forța să caute alte locuri unde să poată trăi. Și bineînțeles că aceasta ar servi de minune scopurilor ADN-ului.”

Presiunea atmosferică excesivă de pe planeta noastră a fost principalul motiv pentru care fizicianul Gerard O'Neill de la Princeton a avansat, în anii 1970, ideea orașelor spațiale. „Dacă luăm în considerare problemele create de criza energetică și a materiilor prime, de încălzirea globală și așa mai departe, suprafața Pământului ar mai putea fi considerată locul potrivit pentru o civilizație în continuă dezvoltare tehnologică?”, s-a întrebat el. „Spre surprinderea noastră, când am luat în calcul această posibilitate, a rezultat ideea că, pe termen lung, agricultura și industria din spațiu ar fi mult mai eficiente... și cu siguranță mai puțin dăunătoare biosferei de pe Pământ”.

O'Neill și-a imaginat emigrarea voluntară a majorității pământenilor către habitate confortabile amplasate pe stații orbitale cu diametre de sute de metri sau chiar de kilometri. El le-a numit Sfere Bernal, în onoarea matematicianului și fizicianului britanic Desmond Bernal, care propusese asemenea habitate orbitale în cartea sa din 1929, *The World, The Flesh and The Devil* (*Lumea, Oamenii și Diavolul*). Din punct de vedere tehnic, ideea acestor sfere îi aparținea rusului Constantin Tiolkovski de la Kaluga care proiectase, în 1903, o stație spațială în rotație, astfel încât forța centrifugă să le dea locuitorilor impresia de gravitație normală. O altă prefigurare a acestora se găsește în filmul *Odissea spațială 2001*, realizat în 1968, în care un hotel spațial se rotește lent pe muzica valsului *Dunărea Albastră*.

● Culturi în spațiu

Realitatea a rămas cu mult în urma visurilor hollywoodiene. Însă oricine având un miligram de imaginație poate observa cum Stația Spațială Internațională (ISS) devine din ce în ce mai mare și mai strălucitoare pe cerul în amurg, datorită participării reunite a Statelor Unite, Rusiei, Canadei, Europei și Japoniei, și o poate considera drept un prim efort stângaci al ființelor umane de a trăi în armonie în afara Pământului, în orașe spațiale. Iar când, în 2002, omul de afaceri californian

Dennis Tito a plătit rușilor, sfidând NASA, o călătorie până la SSI, el a deschis calea către spațiul cosmic și pentru muritorii de rând.

Într-o bună zi se vor naște primii copii în spațiu, iar specia noastră și ADN-ul uman vor înfrunta viitorul cu mai multă încredere. Primele dificultăți întâlnite vor fi de ordin biologic. Ființele umane aflate în spațiu, fără a beneficia de o gravitație artificială, sunt predispuse în asemenea măsură unei senzații de rău fizic și unui proces de degradare a condiției fizice, încât trebuie să fie transportate din capsula în care au efectuat zborul. Sistemul imunitar slăbește. Încă nu s-au realizat experimente care să demonstreze că reproducerea mamiferelor în spațiu ar fi posibilă, nici măcar la 38% din gravitația Pământului, în condițiile caracteristice planetei Marte.

În privința posibilității menținerii unui mediu ambiant favorabil vieții și asigurării cu hrană în spațiu au început, în 1972, cele mai longevive cercetări din lume, la Institutul de Biofizică din Krasnoiarsk, în capsula Bios-3. Un spațiu etanș de 315 metri cubi, plasat subteran, este „locuința” unui echipaj de trei persoane. Hrana și oxigenul provin de la plante crescute cu ajutorul luminii artificiale. O echipă multidisciplinară alcătuită din oameni de știință și medici ruși monitorizează întregul sistem. Mai rămân nesoluționate câteva probleme de ordin ecologic, în special controlul microorganismelor și al oligoelementelor.

Oamenii de știință din Bulgaria au creat prima seră miniaturală pentru experimente de lungă durată asupra culturilor produse în spațiu. Ea a fost plasată la bordul stației spațiale sovietice Mir între anii 1990 și 2000, iar experimentele s-au efectuat cu precădere pe grâu. În anul 1999 se obținuse a doua generație de semințe în spațiu. De asemenea, au mai fost cultivate pe Mir ridichi, varză chinezească, muștar și salată. În general, aceste plante au fost aduse pe Pământ în vederea examinării însă, cu ocazia ultimei vizite, i s-a permis echipajului să și guste din salata recoltată.

Inițiatoarea programului, Tania Ivanova de la Institutul Bulgar de Cercetare Spațială din Sofia, remarca recompensa psihologică a culturilor spațiale: „În timpul seriilor de experimente de pe Mir cu serele noastre spațiale, astronauții plutau până la sere de cel puțin cinci ori pe zi, bucurându-se de creșterea plantelor, în loc să observe plantele o dată la cinci zile, așa cum prevedeau instrucțiunile”.

● O undă a umanității

Deși viața în afara Pământului este greu de imaginat, această idee este mai puțin exagerată decât presupunerea că ființele umane vor înfrunta extincția în mod pasiv, precum *Tyrannosaurus rex*. Nici chiar cele mai ambițioase eforturi ale unei flote nucleare spațiale nu vor putea garanta protejarea Pământului de un impact major cu o cometă sau cu un asteroid.

Există o multitudine de evenimente care pot provoca dispariția speciei umane de pe Pământ: războaie, pandemii, erupții vulcanice catastrofale, răcirea climei ori explozia unei stele apropiate. Supraviețuirea pe o perioadă nedeterminată a

umanității ar fi posibilă numai prin crearea de colonii independente, având capacitate de autosusținere a vieții în spațiul extraterestru. În acest caz, coloniștii ar trebui să ia cu ei o adevărată Arcă a lui Noe cu multe specii terestre, în vederea realizării unui ecosistem viabil.

„Nu vom rezista mult timp pe Pământ”, i-a spus scriitorul american Ray Bradbury jurnalistei italiene Oriana Fallaci, ca și cum ar fi murmurat o rugăciune. „Dacă într-adevăr ne temem de întuneric, dacă într-adevăr luptăm împotriva lui, atunci, pentru binele tuturor, să ne urcăm în rachete, să ne obișnuim cu frigul și cu arșița, fără apă și fără oxigen.”

Există mai multe motive reale pentru a căuta un habitat în spațiul extraterestru. Încă din paleoliticul superior migrația a constituit o temă dominantă în existența umană. Navigatorii polinezieni care au migrat în insulele pustii din Pacific reprezintă un model de curaj. Indiferent de motivele invocate: cunoașterea, aventura, exasperarea sau pur și simplu necesitatea stringentă, nu trebuie să ne îndoim de faptul că ființele umane vor ajunge într-o bună zi la ceea ce visează.

Freeman Dyson de la Institutul de Studii Avansate de la Princeton a imaginat colonii spațiale de diverse forme, pornind de la copaci gigantiști crescuți pe suprafața cometelor, până la un înveliș complet al structurii orbitale proiectat pentru a capta cea mai mare parte a luminii solare. În prezent, noi nu folosim nici o miliardime din energia emisă de Soare. Dyson și-a imaginat, de asemenea, o navă spațială de mână a doua folosită de o societate de pământeni care se autofinanțează pentru a coloniza un asteroid, după modelul pelerinilor de pe corabia *Mayflower* (primii coloniști englezi pe teritoriul de astăzi al SUA).

Alții merg și mai departe. Imaginați-vă o undă a umanității pornind în spațiu cu 1% din viteza luminii. Aceasta va traversa întreaga Cale Lactee în 8 milioane de ani, colonizând miliarde de planete încă neocupate de ființe vii. Având în vedere această scală a timpului, nu e nevoie să ne grăbim decât cel mult pentru a preveni eventualitatea în care demoralizarea generală, sărăcia sau extincția ar duce la scăderea avântului ființelor umane către stele.

În afara numeroaselor riscuri fizice directe ale astronautilor, se pot prezice deja și consecințele genetice. Există posibilitatea ca ființele umane și însoțitorii acestora, animale, plante sau bacterii, să evolueze în forme de nerecunoscut, chiar ostile. Însă cu cât mai departe se vor dispersa acești călători spațiali, cu atât se vor diminua consecințele acestor schimbări pentru supraviețuirea umanității. În eventualitatea în care călătoria interstelară devine o realitate pentru oameni, nici chiar stingerea Soarelui, peste câteva miliarde de ani, nu va mai însemna sfârșitul lumii.

● Cum să ajungem la stele?

Stelele sunt foarte departe, iar pentru a ajunge la ele sunt necesare metode de propulsie superioare celor folosite de rachetele chimice de la începutul erei spațiale. Fuziunea nucleară pare a fi o astfel de soluție. În 1977, Alan Bond

împreună cu colegii săi de la Societatea Interplanetară Britanică a proiectat o navă spațială fără echipaj uman numită Daedalus, cu misiunea de a ajunge la o stea apropiată. Ei au ales metoda fuziunii hidrogenului greu (deuteriu) cu heliu ușor (helium-3) extrase din atmosfera planetei Jupiter.

Daedalus urma să atingă o viteză de 13% din viteza luminii și ar fi ajuns peste 50 de ani la steaua lui Barnard, aflată la o distanță de 6 ani-lumină. Chiar și fără echipaj uman, masa navei de 50 000 de tone este comparabilă cu masa unui pachebot. În 1988, marina americană și NASA au adoptat idei-cheie din proiectul navei Daedalus în proiectul Long Shot, de construire a unei sonde spațiale cu dimensiuni mult mai reduse, fără echipaj, care urma să ajungă la steaua Alpha Centauri (aflată la distanța de 4,3 ani-lumină) în 100 de ani.

În anul 2000, o instalație de produs antimaterie a laboratorului de fizica particulelor CERN din Geneva a început crearea antihidrogenului. Comentatorii au afirmat că acesta ar putea reprezenta un prim pas mic către stocarea antimateriei în vederea folosirii ei drept combustibil pentru navele spațiale. În cazul interacțiunii dintre atomii normali și antiatomi, are loc un proces de anihilare reciprocă, însoțit de o eliberare masivă de energie, ceea ce face din antimaterie cel mai puternic combustibil pentru rachete imaginabil la ora actuală.

Alte proiecte disponibile la începutul secolului al 21-lea includeau un colector uriaș care să adune hidrogenul din spațiul interstelar în vederea utilizării acestuia drept combustibil pentru rachete sau pentru nave de diverse forme. Navele ar putea fi împinse de lumina solară sau de vântul solar, de emisiile atomilor radioactivi dintr-un strat de vopsea specială aplicat pe navă, ori de fascicule laser, microunde sau particule accelerate emise de dispozitive create de om.

Utilizând energia solară și bobine magnetice pentru alimentarea unui mic generator de plasmă, o navă spațială s-ar putea înconjura cu un câmp magnetic, o magnetosferă cu diametrul de mai mulți kilometri. Aceasta ar putea funcționa ca o navă invizibilă ce ar fi împinsă de vântul solar. După părerea lui Robert Winglee de la Universitatea Washington, s-ar putea ajunge la viteze de 50 de kilometri pe secundă, de zece ori mai mult decât o navetă spațială. Asemenea idei pot părea bizare, însă tot așa au fost privite și proiectele unor mașinării de zbor mai grele decât aerul, cu mai puțin de 100 de ani înainte de apariția avionului propulsat de motoare cu reacție.

O problemă psihologică a potențialilor constructori de astronave și a astronautilor se datorează duratei călătoriei spațiale de un secol sau chiar mai mult, care implică un risc major de învechire a navei înainte de sfârșitul călătoriei. Imaginați-vă o echipă curajoasă de astronauti călătorind spre o stea îndepărtată, cu cheltuieli de mii de miliarde de dolari. După o sută de ani de viață solitară, naștere și moarte în spațiu, într-o continuă stare de anxietate în ceea ce privește ecosistemul, relațiile personale și sănătatea mintală, această navă va fi depășită

de o navă spațială mai mică și mai rapidă, rodul unei tehnologii mult mai dezvoltate și la bordul căreia se vor afla oameni din generația nepoților lor.

Conceptele revoluționare care ar face să devină „antice” sistemele de propulsie contemporane nu par a fi atât de inaccesibile. Unul dintre acestea ar putea fi descoperirea unei modalități de captare a enormei energii latente din particulele nevăzute existente chiar și în vidul cosmic. O altă soluție ar fi penetrarea structurii spațio-temporale printr-o așa-numită „gaură de vierme” care, se presupune, ar fi o poartă către o altă dimensiune a Universului.

În lipsa unor astfel de soluții radicale, proiectanții navelor spațiale vor utiliza cu precădere fizica convențională și vor fi mereu tentați să se rezume la zboruri interstelare ale roboților cu capacitate de autoreproducere. Acest fapt nu ar fi în concordanță cu scopul supraviețuirii umanității prin emigrarea în spațiu. Există și riscul destul de ridicat ca roboții proiectați să exploreze planetele în interesul oamenilor să devină mutanți în urma impacturilor cu radiația cosmică și, pierzându-și astfel inhibițiile încorporate la construcție, să se întoarcă să exploateze Pământul.

Există posibilitatea ca prima navă spațială interstelară să fie foarte diferită de orice s-a imaginat până în prezent. Dar întrebările privind modul de propulsie sau destinația acesteia ne ajută să ne înțelegem mai bine locul nostru în Univers, atât în prezent, cât și în viitor. De asemenea, aceste întrebări conferă o conotație practică astrofizicii și fizicii particulelor, care altfel ar părea și mai îndepărtate de scopurile umanității decât fizica spațială dezbătută chiar în ziua reușitei zborului cosmic al lui Gagarin.

- *Pentru informații despre călătoriile prin găurile de vierme, vezi **MAȘINILE TIMPULUI**. Pentru alte perspective, vezi **UNIVERSUL**, **SISTEMUL IMUNITAR** și **ENERGIA NEAGRĂ**. Pentru posibilele restricționări ale roboților care-și depășesc atribuțiile, vezi **GRAMATICA**.*



BACTERIILE EXTREMOFILE

Creaturi care se dezvoltă în condiții extreme

IN ANUL 1977, vasele de cercetare *Lulu* și *Knorr* ale Institutului Oceanografic Woods Hole din Massachusetts navigau în apele oceanului ecuatorial, la 300 de kilometri depărtare de Insulele Galapagos. Acestea examinau forma de relief submarin denumită dorsala Pacificului de Est. Geologii marini din statul Oregon căutau supapele hidrotermale de pe fundul oceanului, situate la o adâncime de 2 500 de metri sub nivelul mării, prin care activitatea vulcanică ar fi permis eliminarea în ocean a apei fierbinți, încărcate cu substanțe chimice.

Un submarin fără oameni la bord, scufundat până la fundul oceanului, a detectat o regiune în care apa avea o temperatură puțin mai ridicată decât în mod normal. Imaginile transmise de la bordul submarinului au indicat existența moluștelor în acea regiune. S-a presupus însă că acestea ar reprezenta doar cochilii goale, aruncate peste bordul unui vapor după prepararea moluștelor. Nava de cercetare *Lulu* a lansat un submarin, denumit *Alvin*, la bordul căruia se aflau geologii John Corliss și Tjeerd van Andel, cu scopul de a examina condițiile fizice din zona cu temperatură mai ridicată.

Victoria A. Kaharl, cercetătoare la Woods Hole, a relatat schimbul de replici prin intermediul unui telefon subacvatic dintre Corliss și Debbie Stakes, studentă la master, aflată la bordul vasului *Lulu*:

Corliss: Luăm mostre dintr-o supapă hidrotermală... Debra, fundul oceanului n-ar trebui să arate ca un deșert?

Stakes: (amintindu-și de unicul curs de biologie studiat în liceu și de cel de ecologie de la master): Ba da.

Corliss: Ei bine, sunt o mulțime de animale pe-aici.

Până în acel moment, s-a crezut că pe fundul mării viețuiesc doar câteva specii modeste și cunoscute, capabile să se hrănească în beznă cu rămășițele de hrană moartă provenită din belșug de la suprafața însorită a apei. Submarinul a descoperit însă colonii întregi de creaturi exotice viețuind în vecinătatea supapelor hidrotermale. Crabi și homari albi ca zăpada, viermi tub cu cap roșu giganti, animale asemănătoare anemonei de mare, meduzelor și păpădiilor... și așa mai departe.

Aceasta a constituit o descoperire importantă, deoarece expediția pornise inițial în căutarea substanțelor chimice. În anul 1974, proiectul FAMOUS (French – American Mid-Ocean Undersea Study) a explorat dorsala medio-atlantică – cel mai mare lanț muntos subacvatic de pe planetă. Studiul avea drept scop confirmarea teoriei plăcilor tectonice, recent apărută la acea vreme. Potrivit acesteia, continentul american se îndepărtează de Europa și de Africa, iar roca topită incandescentă iese la suprafață pe fundul oceanului de-a lungul rifturilor, formând o falie imensă de la nord spre sud. Din punct de vedere geologic explorarea a fost un succes, însă dilemele privind substanțele chimice au rămas nesoluționate.

În cazul în care apa ar fi pătruns prin fisurile de pe fundul mării, ar fi exercitat o influență puternică asupra conținutului de apă marină. Oamenii de știință au vehiculat ideea reciclării oceanice de-a lungul milioaneilor de ani. Ei au presupus că apa ar fi coborât precum Orfeu în lumea cealaltă de sub fundul oceanului. Apoi, odată cu amorsarea activității geologice, ar fi reacționat puternic cu mineralele încinse, înainte de a se reîntoarce în mare prin supapele hidrotermale vulcanice. În acest caz, apa ar fi trebuit să transporte un număr mare de substanțe dizolvate.

Presupusele supape au fost descoperite de submarinul *Alvin* în dorsala Pacificului de Est, iar odată cu acestea și organisme vii surprinzătoare. Expediția geologică nu dispunea însă de ajutorul biologilor, care ar fi catalogat această descoperire ca fiind cea mai mare surpriză a biologiei de teren din secolul al 20-lea. În schimb, au primit instrucțiuni elementare prin intermediul radioului privind modalitatea de conservare a acestor specimene.

Robert Ballard, un tânăr membru al expediției, care ulterior avea să devină cunoscut pentru descoperirea *Titanicului* și a altor epave istorice, a povestit că era ca o plimbare prin Disneyland: „A trebuit să folosim sticle de vodcă și de bourbon pentru a conserva ceea ce găsisem”, a afirmat Ballard. „Am mers mai întâi în clinica vaporului și am epuizat repede tot spirtul medicinal de acolo. Așa că pentru restul specimenelor a trebuit să folosim băuturi alcoolice.”

● Unora le place apa fierbinte

La sfârșitul secolului al 20-lea, biologii au redefinit conceptul de „viață normală”. Organismele care inițial fuseseră considerate drept ciudățenii deoarece nu se puteau adapta la o anumită temperatură și presiune de la suprafața oxigenată și însoțită a planetei au fost recunoscute ca mulțimi uriașe, care se dezvoltă în condiții la fel de normale ca și ale noastre. Numărul ridicat al speciilor noi descoperite în vecinătatea supapelor hidrotermale și faptul că mii de astfel de supape au rămas necercetate, certifică posibilitatea existenței pe fundul oceanului a unui număr de specii cel puțin egal cu cel al speciilor de la suprafață.

De asemenea, există un număr mare de microbi care trăiesc pe fundul oceanului sau plutesc în apele din apropierea supapelor hidrotermale. Aceștia nu-și extrag

energia nici prin intermediul razelor solare și nici al rocilor detritice, ci din apa fierbinte bogată în atomi și compuși rezultați în urma reacțiilor cu rocile. Mostrele din acea apă degajă un miros de ouă stricate – mirosul sulfurii de hidrogen. Diferențele chimice dintre apa fierbinte care țâșnește din crăpăturile de pe fundul oceanului și apa marină normală, rece, din adâncul oceanului, determină o multitudine de reacții.

Un număr mare de specii diferite de microbi se strecoară în această competiție liberă, utilizând gaze și minerale dizolvate pentru a-și alimenta propriile procese biochimice. Aceștia reprezintă cei mai primitivi producători ai ecosistemului, constituind hrana animalelor neobișnuite. Microbii includ bacteriile și specia archaea, organisme simple similare, cu o descendență evolutivă diferită. Multe dintre acestea sunt bacterii extremofile, organisme care tolerează cu predilecție medii extreme.

În anul 1989, Karl Stetter împreună cu colegii săi din Regensburg, Germania, au descoperit faptul că speciile archaea care trăiesc în supapele vulcanice din Marea Mediterană preferă o temperatură a apei de 98°C. Aceasta înseamnă aproximativ temperatura de fierbere a apei de la suprafață, deși la presiune ridicată apa marină nu se vaporizează. Dacă temperatura scade la numai 84°C, aceste organisme nu se mai dezvoltă. Rezistența acestora chiar și la temperatura de 110°C a fost considerată, pentru un timp, noul record de supraviețuire la temperaturi ridicate al organismelor cunoscute.

O altă caracteristică a organismelor care trăiesc în apropierea supapelor hidrotermale este adaptarea la presiunea ridicată a apei. Anumiți microbi care preferă o presiune ridicată nu se dezvoltă la adâncimi mai mici de 3 000 de metri. Însă în experimentele de laborator aceștia tolerează presiuni mai ridicate decât în cele mai adânci fose de pe fundul oceanului. În urma acestor observații, se presupune că există microbi care se dezvoltă în petrol la o adâncime de mai mulți kilometri în scoarța Pământului, sub fundul mării, în zăcămintele petrolifere din Marea Nordului. *Escherichia coli*, banala bacterie care sălășluiește în intestinul uman, poate supraviețui sub presiunea corespunzătoare greutatei unei suprasarcini de 50 de kilometri de pietre.

Medii extreme există de asemenea și la suprafață. Lacurile sărate și salinile din care se evaporă apa în scopul extragerii sării culinare sunt uneori sinistru colorate din cauza locuitorilor lor microbieni. Lacurile din Africa pot fi atât foarte alcaline, cât și foarte sărate, iar speciile de archaea existente sunt capabile să tolereze condiții asemănătoare amoniacului de uz casnic. La cealaltă extremă a scalei alcalin-acid, acidul din interiorul stomacului constituie un mediu prielnic pentru *Helicobacter pylori*, cea mai importantă cauză a ulcerului peptic la oameni, iar unele specii de archaea supraviețuiesc producând acid sulfuric. Se cunosc specii care tolerează condiții acide, comparabile cu cele din bateria unei mașini. *Deinococcus radiodurans* posedă o asemenea capacitate de regenerare a genelor alterate, astfel

Încât acestea sunt capabile să supraviețuiască unei radiații atomice de o mie de ori mai mare decât celei fatale celor mai multe ființe vii.

La sfârșitul anilor 1980, spărgătorul de gheață german *Polarstern*, având la bord mai multe echipe științifice multinaționale, a spart gheața, la propriu, descoperind un alt habitat de specii rezistente în gheața marină din jurul Antarcticii. Cele mai remarcabile s-au dovedit a fi algele din interiorul gheții, care conferă jumătății inferioare a banchizei o culoare maronie. Gotthilf Hempel de la Institutul Alfred Wegener din Bremerhaven a afirmat că „algele din gheață joacă un rol important în ecosistem, în special la sfârșitul iernii și la începutul verii”.

Algele trăiesc în apa sărată concentrată păstrată în mici canale existente în interiorul gheții și tolerează nu numai concentrația ridicată de sare, ci și temperatura de minus 20° Celsius. Ele utilizează lumina slabă care penetrează stratul de gheață. Alături de aceste alge mai trăiesc viermi lați și crustacee de mici dimensiuni. Aceste extremofile de gheață constituie hrana krillului, organism din Oceanul Antarctic asemănător crevetelui, care constituie la rândul său hrana pinguinilor, a focilor și a balenelor.

În absența descoperirii oricărei forme de viață pe suprafața planetei Marte, oamenii de știință au presupus că organismele care trăiesc în subteranul planetei roșii ar putea supraviețui prin intermediul reacțiilor hidrogenului cu dioxidul de carbon din care rezultă gaz metan și apă. O concentrație nemaîntâlnită de archaea capabile să trăiască în astfel de condiții a fost evidențiată la 200 de metri adâncime în subteranul statului Idaho. Acestea se dezvoltă în apa care alimentează izvoarele termale vulcanice Lidy.

Spre deosebire de descoperirea organismelor din supapele hidrotermale, acest rezultat nu a fost întâmplător. O echipă de la Centrul de Cercetări Geologice din Statele Unite și de la Universitatea din Massachusetts a investigat timp de mai mulți ani activitatea vulcanică din parcul național Yellowstone, în căutarea unui spațiu subteran fără contaminarea de suprafață și în care s-ar putea produce procese biochimice neobișnuite. Comentând rezultatul obținut la izvoarele termale Lidy, astrobiologul londonez Richard Taylor remarcă: „Atâta timp cât există apă subterană și combustibil chimic suficient, va exista și viața microbiană. Anormală este viața de la suprafață”.

Astrofizicianul Thomas Gold de la Cornell și-a imaginat că rocile din scoarța terestră adăpostesc o diversitate de specii care trăiesc nu prin producerea metanului, ci cu ajutorul acestuia. Această idee era în legătură cu viziunea sa neortodoxă potrivit căreia cea mai mare parte a hidrocarburilor terestre sunt de origine astrochimică, nicidecum un rezultat al proceselor biologice, după cum se credea în general. Microbi care să proceseze metanul primordial s-ar putea dezvolta până la o adâncime de câțiva kilometri, unde temperatura ar deveni excesivă chiar și pentru speciile rezistente și iubitoare de căldură. Despre această

presupusă biosferă de gnomi microscopici, Gold a declarat: „Ca masă și volum, aceasta este similară vieții de la suprafață”.

● De ce suntem atât de pretențioși?

Extremofilele n-ar mai trebui considerate curiozități ale naturii. Și nu sunt nici solitare. Ele se dezvoltă în comunități în care producția unui organism constituie resursele altuia. Epopeea extremofilelor și a dietelor lor surprinzătoare este abia la început. Acestea îi obligă pe geochimiști să reevalueze procesele vii care reciclează elementele, sărurile și moleculele și care mențin condițiile chimice benigne ale aerului, apei și solului. Nu există probabil nicio poluare umană, cum ar fi deversări de petrol, pungi de plastic și deșeuri nucleare, pe care un microb sau altul să nu o poată controla. Companiile miniere sunt conștiente de existența bacteriilor care colectează diferite metale. Nu toți au dat uitării străvechiul vis de a obține aur din apa de mare.

Căutarea unei cunoașteri mai profunde a vieții existente în cele mai insolite regiuni ale Pământului se intersectează cu căutarea vieții pe alte planete. Ea are legătură și cu originea vieții pe planeta noastră, datată cu 4 miliarde de ani în urmă. La acea vreme, Pământul suferea frecvent impacturi cu comete și asteroizi, în urma cărora se ridicau valuri de praf care ecranau lumina solară și generau mareae gigantice. Probabil că pe atunci cea mai sigură regiune de pe planetă nu era la suprafața Pământului, ci în apropierea supapelor hidrotermale de pe fundul oceanului. Aceasta înseamnă de fapt „a-ți băga capul la cutie”.

Dacă am fi niște extremofile inteligente, am considera că alegerea habitatului uman este una stranie și pretențioasă. Există mai multe modalități de supraviețuire a organismelor, în afara celor specializate care ne sunt cele mai familiare, în care plantele utilizează lumina solară pentru a produce material organic din dioxid de carbon și apă. Și întâmplarea face că eucariotele, organisme avansate incluzând ciupercile și multe plante și animale pluricelulare, preferă un astfel de mod de viață.

Inventariind ceea ce se știa despre microbii cu habitat neobișnuit, Dianne Newman de la Caltech și Jillian Banfield de la UC Berkeley au concluzionat: „După ce vom înțelege principiile de funcționare ale comunităților microbiale, comparațiile cu studiile de manifestare a genelor în organisme pluricelulare poate că ne vor dezvălui motivul pentru care numai o mică parte din populația Pământului (spre exemplu, cele mai multe dintre eucariote) și-au pierdut capacitatea de a utiliza cea mai mare parte a surselor de energie disponibile și au populat numai un mic segment din mediile locuibile ale Pământului”.

● Preinși extremiști din regnul animal

La începutul anilor 1960, Art de Vries, student masterand la Stanford, a prelevat mostre de pești care trăiesc în apa mării la temperaturi sub 0°C, la baza McMurdo

din Antarctica și a descoperit în interiorul acestora molecule proteice speciale care împiedică formarea cristalelor de gheață în celulele corpurilor lor. Alte tipuri de proteine anticongelante au fost găsite în compoziția diferitelor specii de pești de apă rece și, de asemenea, la plantele și insectele care trăiesc în condiții de îngheț chiar și în zonele temperate, pe timpul iernii. Aceste proteine se atașează cristalelor microscopice de gheață și le împiedică dezvoltarea cu o eficacitate de 100 de ori mai mare decât substanțele chimice antigel fabricate de om.

Temperatura apei marine scade numai până la valoarea de minus 2°C, iar în opinia lui David Wharton din Otago, Noua Zeelandă, rezistența animalelor terestre de dimensiuni mici din Antarctica la temperaturi cu mult mai scăzute constituie un fapt și mai provocator. Pinguinii se adună în colonii îngrămădindu-se unii în alții pe perioada iernii polare întunecoase, pentru a minimaliza pierderile de căldură. Pe de altă parte, nematozii *Panagrolaimus davidi*, viermi aproape imposibil de detectat cu ochiul liber, care trăiesc printre alge și mușchi în regiunile mai puțin friguroase ale Antarcticii, îngheață în mod regulat în fiecare iarnă.

Aceștia sunt capabili să reziste unei temperaturi de minus 35°C, sistându-și în mod virtual activitatea metabolismului și reluând-o odată cu sosirea primăverii. În testele de laborator, ei suportă fără probleme temperaturi de până la minus 80°C. Investigând strategia de supraviețuire a viermilor nematozi, Wharton a descoperit faptul că viteza de răcire este un factor decisiv. Nematozii supraviețuiesc ritmului lent de îngheț specific mediului natural, însă înghețarea rapidă în azot lichid îi distruge.

Această formă de viață latentă poartă denumirea de criptobioză sau anabioză. Diferite plante și animale produc larve, semințe și spori cu o mare capacitate de rezistență, care par fără viață, însă care depășesc condițiile adverse timp de ani sau chiar milenii, revenindu-și la viață în condițiile unui dezgheț sau ale unei ploii în deșert. După părerea lui Wharton, aceste organisme criptobiotice nu sunt adevărate extremofile.

Analizând capacitățile animalelor mari de a se dezvolta în condiții extreme, comparabile cu cele ale speciei archaea și ale bacteriilor, Wharton a concluzionat că numai câteva grupuri, în special din rândurile insectelor, păsărilor și mamiferelor, sunt capabile să supraviețuiască în asemenea condiții. Insectele rezistă deshidratării prin intermediul învelișurilor de ceară. Păsările și mamiferele cu sânge cald reușesc să-și mențină temperatura internă între anumite limite stricte, fie că trăiesc în frigul polar sau în căldura deșertului. Pe de altă parte, peștii și majoritatea speciilor de animale nevertebrate ocolesc cele mai aspre habitate – marea excepție constituind-o habitatul de pe fundul oceanului.

„Noi considerăm adâncul mării ca fiind un mediu extrem din cauza presiunii ridicate cu care se confruntă organismele existente”, a comentat Wharton, la un sfert de secol de la descoperirea organismelor din supapele hidrotermale. „Odată cu depășirea problemei prelevării probelor de la organismele care trăiesc într-un

astfel de habitat, am realizat că fundul oceanului nu reprezintă nicidecum un deșert biologic, așa cum s-a considerat inițial, ci este populat de o varietate de specii... Poate că adâncul mării n-ar mai trebui considerat un mediu extrem.”

- Pentru informații despre subiecte similare, vezi ENZIMELE GLOBALE, ORIGINEA VIEȚII, ARBORELE VIEȚII ȘI VIAȚA EXTRATERESTRĂ.



BIG BANG

prestidigitatia inflaționistă a Universului

AȘA SUNĂ MUZICA păsărilor și albinelor, a curgerii, a clocotului, a înălțării și a efervescenței, a tensiunii și a constrângerii eliberate subit.” Astfel a fost caracterizat – de către scenaristul britanic al serialului radio de science-fiction *A Hitchhiker's Guide to the Galaxy* (*Ghidul autostopistului spre galaxie*), Douglas Adams – cel de-al treilea Concert Brandenburgic al lui Johann Sebastian Bach. El a concluzionat: „Bach îți povestește cum e să fii Universul”. Cosmologia modernă este într-adevăr într-o fierbere și o efervescență continue, Bach a intuit corect.

Denumirea de Big Bang pentru originea zgomotoasă a cosmosului a reprezentat o discreditare în momentul în care Fred Hoyle de la Cambridge a utilizat-o pentru prima dată ironic într-o discuție la radio, în anul 1950. Existau însă foarte mulți susținători ai acestei ipoteze. La acea vreme, cel mai înflăcărat era George Gamow de la Universitatea George Washington; el a adăugat cu de la sine putere numele lui Hans Bethe în calitate de coautor al unei lucrări despre Big Bang pe care a scris-o împreună cu Ralph Alpher, găsind amuzantă denumirea de teoria Alpher-Bethe-Gamow. Big Bang suna totuși mai inteligent – mulțumim, Fred.

Conceptul unei surse minuscule, de temperatură ridicată, a tot ceea ce există, a evoluat timp de o jumătate de secol. Prima formulare a teoriei a reprezentat-o *l'atom primitif* (atomul primitiv) a cosmologului belgian Georges Lemaître, în 1926. El avea să scrie mai târziu: „Stând pe cenușa bine răcită, putem observa stingerea lentă a sorilor, evocând strălucirea dispărută a originilor lumilor”.

Nu există încă nicio îmbunătățire a limbajului folosit de Lemaître, însă acestuia i s-au adăugat multe concepte convingătoare din fizica nucleară a anilor 1940 și din fizica particulelor elementare a anilor 1970. Printr-o minunată convergență,

fizica macrocosmosului și cea a microcosmosului particulelor elementare au devenit una și aceeași poveste. Pe când astronomii cercetau începuturile timpului cu ajutorul telescoapelor din ce în ce mai performante, fizica particulelor atingea energii din ce în ce mai mari, cu ajutorul unor acceleratoare gigantice, devenind astfel capabilă să investigheze temperaturile extrem de ridicate din timpul Big Bang-ului.

Se presupune că, la origini, Universul pe care îl cunoaștem, cu toate galaxiile sale, a fost cât un punct ca acesta - dar mult mai mic. Unde s-a născut Universul? Chiar în vârful unui deget sau pe nasul unui ursuleț wombat verde din cea mai îndepărtată galaxie care poate fi observată. Pe scurt, originea Universului era pretutindeni, deoarece în acel mic punct era cuprins totul.

Spațiul și timpul au ieșit din el precum duhul din lampa lui Aladin. În acest sens, atât noi, cât și ursulețul marsupial, trăim înăuntrul Big Bang-ului. Big Bang-ul nu a avut loc altundeva și nici nu a determinat o expulzare a componentelor sale în altă parte. Big Bang-ul a avut loc chiar aici, iar pe măsura trecerii timpului, spațiul s-a dezvoltat chiar în jurul locului în care te afli.

Amănuntele în ceea ce privește Big Bang-ul erau învăluite în mister, însă până la sfârșitul anilor 1970 s-a conturat ideea că Universul timpuriu era foarte simplu, cu alte cuvinte, un amestec de radiație nediferențiată și materie, extrem de fierbinte, înzestrat inițial cu gravitație și cu o singură forță electronucleară primordială. De asemenea, Universul a avut inițial și antigravitație, ceea ce a determinat extinderea acestuia. Această expansiune a permis răcirea Universului. Pe măsură ce se petrecea acest lucru, forța electronucleară s-a separat în componente diferite, precum vaporii de apă din aer care, răcindu-se, se transformă în picături de ploaie sau în fulgi de zăpadă.

Acest fapt a condus la apariția forțelor cosmice așa cum le cunoaștem noi astăzi: forța nucleară tare, așa-numita forță nucleară slabă și forța electrică. Din aceeași energie clocotindă au rezultat de asemenea și particule materiale - quarcii și electronii. Din acestea din urmă, forțele cosmice, inclusiv gravitația, au creat structuri complexe: atomi, galaxii, stele, planete și, în cele din urmă, ființele vii, toate în interiorul unui cosmos în continuă expansiune.

„Pur și simplu am apărut în istoria Universului prea târziu pentru a putea vedea cu ușurință simplitatea lui primordială”, afirma Steven Weinberg de la Harvard în 1977. „Aceasta e cea mai extraordinară idee pe care o cunosc: faptul că natura este mult mai simplă decât pare. Nimic altceva nu-mi dă mai multă speranță că generația noastră de ființe umane este pe cale de a dezlega misterul Universului.”

Cu toate acestea, au existat imperfecțiuni inevitabile în teoria standard a Big Bang-ului la acea vreme. Una dintre ele este faptul că părea dificil, din punct de vedere conceptual, să se poată stoca într-un grăunte infim o cantitate suficientă de energie pentru a produce mai mult decât câțiva atomi, cu atât mai puțin miliarde de galaxii. Alta era faptul că Universul este mult prea unitar pentru a fi explicat printr-o teorie naivă precum Big Bang-ul.

Majoritatea oamenilor de știință au fost însă de acord cu o teorie Big Bang argumentată de ideea potrivit căreia galaxiile se deplasează unele față de altele și de existența fundalului de radiație cosmică în domeniul microundelor. Cea de-a doua a fost interpretată drept o reminiscență a răcirii incandescenței generate de explozia primordială. Privit în oricare din aceste moduri, Universul pare nefiresc de similar în toate direcțiile.

Nefiresc, deoarece Universul s-a extins inițial cu o viteză mai mare decât cea a luminii – spațiul nefiind condiționat de limita de viteză obișnuită. Astfel, materia și radiația observate pe direcția constelației Orion, de exemplu, nu puteau să comunice cu omoloagele lor de pe altă direcție, să zicem cea a constelației Leo. Nu s-a descoperit niciun mecanism prin care diferitele regiuni ajung la un consens în ceea ce privește densitatea medie de materie și de radiație. Însă atunci care ar fi explicația faptului că densitatea medie a galaxiilor îndepărtate din Orion aproape coincide cu cea din Leo? De ce microundele cosmice au aceeași intensitate indiferent de direcție?

● Magicianul de la Moscova

Soluția paradoxală a acestor întrebări a constituit-o ideea de a mări și mai mult viteza expansiunii timpurii, printr-un proces numit inflație. S-a obținut uniformitate peste tot în Univers, prin expansiunea atât de rapidă a universului minimal încât depășește viteza cu care sunt create materia și radiația. Nu s-au întâmplat prea multe până când nu s-a stabilit o densitate medie a energiei pretutindeni în microcosmos.

Inflația a avut de asemenea și un efect „economic”, prin creșterea importantă a cantității de energie disponibilă – „cifra de afaceri” a Creației. A cumpăra un cosmos bine dimensionat cu numai un punct primordial părea să fie o încălcare inadmisibilă a legii conservării energiei, potrivit căreia nu se poate crea ceva din nimic. A fost astfel nevoie de o prestidigitație de ordin mai înalt. Și cine ar fi putut să-și dea seama mai bine de modalitatea prin care poate fi realizat acest truc, decât un astrofizician care era în același timp și magician amator? Numele lui era Andrei Linde, de la Institutul Lebedev din Moscova.

În 1981, el a venit cu principala idee care avea să predomină în următoarele două decenii. Cum se întâmplă în mod firesc însă, această idee avea un precursor. Linde însuși se gândise la rolul pe care îl jucau forțele în universul timpuriu încă din 1972, iar în 1979 Alexei Starobinsky de la Institutul Landau din apropiere a pus în discuție pentru prima dată problema inflației. Acest fapt a stârnit un interes general printre fizicienii sovietici, însă din punct de vedere tehnic ideea lui se baza pe o complicată teorie cuantică a gravitației.

În 1980, Alan Guth de la Institutul de Tehnologie din Massachusetts a propus un alt mecanism pentru producerea inflației. Aceasta s-a petrecut atunci când ideea a devenit cunoscută în Occident, căci în timpul Războiului Rece nici fizicienii

sovietici, nici ideile lor nu aveau voie să călătorească fără permisiune oficială. În viziunea lui Guth, întârzierea creării componentelor Universului pe perioada inflației depindea de suprarăcire.

Vaporii de apă dintr-un nor nu formează picături decât atunci când temperatura scade sub o anumită limită, numită temperatura de condensare. În mod similar, apariția diferitelor forțe cosmice impusă de răcirea cosmosului ar putea fi întârziată. Neoficial, Guth a descris Universul ca fiind chilipirul maxim, făcând referire la apariția cvasimagică a energiei suplimentare în timpul procesului de inflație. Deși părea o teorie foarte atrăgătoare, inflația datorată suprarăcirii nu explica uniformitatea de astăzi a întregului Univers, motiv pentru care însuși Guth avea să renunțe curând la ideea lui.

Linde a prezentat viziunea sa, mai simplă și mai credibilă, asupra inflației în cadrul unei conferințe internaționale a fizicienilor, la Moscova, în vara anului 1981. Inflația ar fi posibilă grație viscozității Universului timpuriu, similară aceleia acționând asupra unei bile care se rostogolește prin miere. Discursul său a stârnit interesul fizicienilor din Statele Unite și din Europa, primind numeroase propuneri de a scoate din țară manuscrisul expunerii, în vederea publicării rapide, pentru că cenzorii sovietici ar fi întârziat-o luni de zile.

A doua zi însă, Linde avea să se confrunte cu o situație deloc plăcută. El era traducătorul lui Stephen Hawking de la Cambridge, care susținea în discursul său că teoria lui Linde privind inflația era inutilă. Aceasta s-a petrecut în fața tuturor fizicienilor sovietici renumiți – teribilă soartă! – iar Linde abia împlinea 33 de ani.

„Traduceam pentru Stephen și explicam fiecăruia problemele teoriei mele și de ce nu este bună”, își amintește Linde. „Nu-mi amintesc să mă fi aflat vreodată într-o asemenea situație jenantă. Ce era de făcut? La sfârșitul discuțiilor am afirmat că, deși tradusesem cuvintele care îmi desconsiderau teoria, nu eram de acord cu acest lucru și am explicat de ce.”

Cu toate acestea, în cadrul unui seminar organizat de Hawking la Cambridge în anul 1982, s-a adoptat în unanimitate o versiune îmbunătățită a scenariului lui Linde, numită „noua teorie inflaționistă”. Între timp, Andreas Albrecht și Paul Steinhardt de la Pennsylvania au ajuns în mod independent la aceeași idee. Noua teorie inflaționistă a devenit foarte populară, iar un an mai târziu Linde a propus un scenariu mai avansat, numit inflație haotică, asupra căruia vom reveni.

În cadrul aceluiași seminar de la Cambridge din 1982 au fost avansate câteva idei în vederea confirmării experimentale a inflației, precum și a altor aspecte ale Big Bang-ului, prin examinarea minuțioasă a microundelor cosmice. Scopul acestor investigații era descoperirea unor aglomerări de materie create de undele sonore în Universul timpuriu. În 2002 observațiile păreau să confirme teoria inflaționistă, și mai mult, dimensiunile aglomerărilor, precum și distanțele dintre ele erau în concordanță cu valorile calculate de către cercetători, având o marjă de eroare de numai câteva procente.

● Grepfrutul vibrant

Big Bang-ul declanșat de inflație este mitul contemporan al creației. Este o poveste pitorească, demnă de a fi narată fără digresiuni, despre un porumbel, un bol cu sirop, un grepfrut vibrant, o supă de quarci și niște dragoni teribili. Aceste considerații se referă numai la etapele expansiunii părții vizibile a Universului și nu la părțile nevăzute ale sale care, după cunoștințele noastre, se întind la infinit.

Să pornim cronometrul. Grăuntele din care se va naște Universul este infim și se agită nervos, așa cum fac toate lucrurile minuscule, conform teoriei cuantice. Acest grăunte posedă un imens potențial, nu un potențial electric obișnuit, ci un potențial corespunzător forței electronucleare polivalente care predomină în condițiile unei temperaturi foarte ridicate.

Inițial, această forță nu a existat în interiorul grăuntelui, din cauza uniformității potențialului cosmic, precum în corpul unui porumbel așezat pe un cablu electric de înaltă tensiune. Deși porumbelul are sarcină electrică, el este ferit de șocuri. Întregul lui corp are același potențial. Potențialul cosmic, cunoscut sub denumirea de potențial scalar, reprezintă și el o energie, care abia așteaptă să se elibereze de constrângeri. V-o puteți imagina ca pe o bilă așezată pe marginea unui bol. În cazul în care este lăsată liberă, bila va aluneca în mod normal spre centrul bolului, degajând energie. În mod similar, potențialul cosmic manifestă tendința de a scădea, rostogolindu-se către o stare de energie potențială minimă. Asta se întâmplă pe măsură ce grăuntele începe să crească.

Secretul succesului în rețeta creării unui univers mare este adăugarea siropului vâcos în bol. Siropul reprezintă produsul secundar al potențialului cosmic și îi reduce viteza pe măsură ce acesta încearcă să se deplaseze către starea de energie potențială minimă din centrul bolului. Ca urmare, minusculul grăunte poate ajunge la dimensiunea unui grepfrut înainte de a se întâmpla ceva deosebit.

Potențialul cosmic scade doar puțin pe perioada inflației. Dimpotrivă, întregul Univers extins rămâne la un potențial ridicat. Acest fapt reprezintă prestidigitatia care, potrivit lui Linde, îi conferă acestuia o energie potențială enormă și, deoarece potențialul rămâne constant, universul care se va dezvolta va fi uniform, în acord cu observațiile făcute.

Universul de dimensiunea unui grepfrut era întunecat, vibrând încă în oscilațiile cuantice ale grăuntelui primordial. Din cauză că energia potențială încerca să se elibereze, micul cosmos era încordat la maximum, ca aerul de sub un nor de furtună pe timpul nopții. Diferența este că fulgerul cosmic nu are unde să se descarce, decât tot în universul însuși.

Bila, reprezentând potențialul câmpului scalar, alunecă în cele din urmă în bol, iar cosmosul începe dintr-o dată să clocotească de energie radiantă. Siropul devine mai puțin vâcos pe măsura scăderii potențialului, determinând pentru scurt timp balansarea bilei, până în momentul în care aceasta se oprește pe fundul castronului, epuizându-și energia.

„Din cauza oscilațiilor, câmpul scalar pierde energie, eliberând-o sub formă de particule elementare”, a explicat Linde. „Aceste particule interacționează și, în cele din urmă se stabilizează la o temperatură de echilibru. Din acest moment, teoria standard a Big Bang-ului poate descrie evoluția Universului.”

● Înfrângerea dragonilor

Grepfrutul înmagazina o energie enormă, suficientă pentru crearea a trilioane de galaxii, la o temperatură, exprimată în grade Celsius, de 10 urmat de 26 sau 27 de zerouri. Expansiunea continua cu o viteză mai mare decât cea a luminii, dar cu mult mai mică decât cea din perioada inflației. Antigravitația primară continua să favorizeze expansiunea în timp ce bătrâna gravitație, singura față prietenoasă din întreaga aglomerație, i se opunea.

Majoritatea particulelor conținute de universul primordial nu pot fi descrise în termeni contemporani, sunt particule stranii care au existat numai atunci. Deși forța electronucleară își încordează mușchii, forțele cosmice mai specializate ale epocilor viitoare nu se manifestă încă. Totuși fiecare mililitru de spațiu în expansiune conține codurile genetice de creare a lor. Fiecare forță își va face apariția la momentul potrivit, pe măsură ce expansiunea reduce temperatura la un nivel critic la care forța respectivă va „precipita” din amalgamul inițial.

Mai întâi forța electronucleară s-a divizat în forța de culoare a cromodinamicii, care operează pe distanțe scurte asupra particulelor grele și forța electroslabă, o versiune mai recentă a binecunoscutei forțe electrice din electrodinamică. În momentul în care temperatura pierde 12 zerouri, forța electrică se desparte de forța slabă, care va deveni cunoscută ca responsabilă de radioactivitate. La momentul în care lista forțelor cosmice și a particulelor asociate lor era definitivată, grepfrutul ajunsese mai mare decât Soarele și era umplut cu o supă de quarci.

Mare parte din intensă energie radiantă s-a condensat în particule materiale cunoscute, prescrise la rândul lor în codul genetic cosmic. Quarzii grei umblau liberi, și nu deveniseră încă creaturile retrase de mai târziu. Particule ușoare erau produse în cantități enorme – electroni, neutrini – și multe alte particule din repertoriul Naturii. Pentru a înțelege violența Big Bang-ului, gândiți-vă că energia necesară creării unei alune din quarci și electroni este echivalentă cu cea degajată de explozia unei mici bombe nucleare. Deja în atelierul cosmic era suficientă materie pentru a crea milioane de universuri ca al nostru.

Primul Dragon asigură crearea particulelor în perechi. Fiecare particulă își are propria antiparticulă, iar întâlnirea dintre ele înseamnă anihilarea reciprocă și transformarea lor în energie radiantă. Se părea că universul putea rămâne fără materie în momentul în care devine atât de rece, încât devine incapabil să mai creeze vreo nouă pereche de particule, în acest ciclu inutil. În cele din urmă, o foarte mică disproporție dintre materie și antimaterie, în favoarea celei dintâi, va lăsa suficienți supraviețuitori pentru a alcătui un univers interesant. Aceasta este povestea înfrângerii Primului Dragon.

Forța de culoare captează quarcii rapizi, închizându-i câte trei înăuntrul protonilor și neutronilor, componenții nucleului atomic. Electronii și antielectronii continuă să roiască pentru o scurtă perioadă de timp, până în momentul în care nici chiar ei nu mai pot fi creați de universul aflat în plin proces de răcire. Procesul de anihilare reciprocă determină dispariția lor definitivă, astfel încât rămâne câte un singur electron, având sarcină negativă, pentru fiecare proton, având sarcină pozitivă. Deoarece orice dezechilibru de sarcină electrică face ca materia să devină autorepulsivă și sterilă, aceasta reprezintă victoria asupra celui de-al Doilea Dragon. Este notabilă arta duelului necesară pentru existența unui dezechilibru între materie și antimaterie și a unui echilibru perfect al sarcinii electrice.

Universul avea deja vârsta de o secundă, după ce a parcurs o serie de perioade evolutive în intervale de timp inimaginabil de scurte. Temperatura masei clo-cotinde scăzuse la numai câteva miliarde de grade, iar grepfrutul căpătase un diametru de o lună-lumină – o distanță aproape imposibil de imaginat, reprezentând a cincizecea parte din distanța care ne desparte de steaua cea mai apropiată de dincolo de Soare. Acest univers s-a pus serios pe treabă, iar până în momentul când limitele grepfrutului vor ajunge la Alpha Centauri, forțele cosmice își vor fi demonstrat abilitățile creatoare.

Următorul pas îl reprezintă heliul. Protonii creați până acum devin nuclee de hidrogen, elementul cel mai simplu din Univers. În această etapă întregul univers este zguduit de o explozie termonucleară care transformă în nuclee de heliu aproape un sfert din masa materiei existente. „Priviți”, par să spună forțele cosmice, „Big Bang-ul este pe sfârșite, dar încă se mai poate stoarce energie din asta”.

Heliul este foarte apreciat de cei care produc sau folosesc baloane și atât de rar întâlnit pe Pământ încât chiar numele său amintește de faptul că a fost identificat inițial în atmosfera solară. Cu toate acestea, Big Bang-ul a făcut ca heliul să fie al doilea cel mai des întâlnit element din cosmos. Existența heliului în cantitate atât de mare dovedește originea sa cataclismică. Deși și stelele produc heliu, toate stelele care au existat vreodată sunt responsabile doar de câteva procente din concentrația totală de heliu. Crearea heliului primordial a luat sfârșit după câteva minute.

În următorii 400 000 de ani, universul a început să semene cu interiorul Soarelui – strălucitor și fierbinte, dar opac. Hidrogenul și heliul nu există încă în stare atomică, ci numai ca nuclee libere, în timp ce electronii liberi împiedică trecerea oricăror raze luminoase. Aveți însă răbdare. Așa cum lumina este emisă de Soare numai de la suprafața sa, unde temperatura relativ scăzută a gazului permite supraviețuirea atomilor întregi, tot astfel eliberarea luminii în universul tânăr nu este posibilă până când temperatura cosmică nu scade la același nivel.

În timp ce așteptăm sfârșitul acestei etape, putem asculta, ca la o linie telefonică în așteptare, muzica universului, care aduce mai degrabă cu bubuiturile unui tunet decât cu cel de-al treilea Concert Brandenburgic, doar că aici undele sonore

care reverberează local în gazul fierbinte sunt consecințele oscilațiilor cuantice ale grăuntelui ancestral. În absența acestora, cel de-al Treilea Dragon s-ar fi asigurat ca universul să fie compus numai din gaze difuze de hidrogen și heliu. Undele de presiune acustică furnizează o altă imperfecțiune importantă a cosmosului, cu care gravitația și celelalte forțe cosmice vor conspira pentru a crea stelele și observatorii lor.

În acest stadiu, în care electronii sunt închiși în cele din urmă în interiorul atomilor, universul are un „diametru” de 20–30 milioane de ani-lumină, adică a miliarde parte din volumul actual. Aici se sfârșesc ipotezele, deoarece cosmosul, deja în vârstă de 400 000 de ani, devine transparent și perfect observabil. Din cauza procesului de răcire, cerul a trecut de la alb incandescent la roșu fierbinte și apoi la negru. Lumina provenea acum de la sferele de hidrogen și de heliu comprimate de gravitație și alimentate de fuziunea nucleară inițiată în cele dintâi minute ale Universului.

Povestea Big Bang-ului inflaționist a produs senzație. Însă, deși cosmologii erau aproape siguri de veridicitatea evenimentelor petrecute după ce universul a împlinit o fracțiune de secundă, ei aveau păreri diferite asupra evenimentelor anterioare, extrem de rapide, inclusiv asupra inflației. Cum astrofizicienii continuă să localizeze microundele cosmice, există speranța ca, până în anul 2009, când vor avea rezultatele misiunii europene Planck, să fie capabili să dezlege multe dintre misterele încă nerezolvate ale Universului. S-ar putea ca 2009 să reprezinte anul unui verdict final în ceea ce privește inflația.

● Dar înainte de Big Bang?

Cum a fost provocat Big Bang-ul? Câțiva experți au încercat să pună acest fenomen pe seama ciocnirilor dintre universurile preexistente. Stephen Hawking a elucidat misterul, ca prin magie, introducând ideea timpului imaginar. Pe de altă parte, Andrei Linde susținuse încă din anul 1983 ideea potrivit căreia Big Bang-ul a fost un fenomen care s-a produs cu foarte mare ușurință. Până și spațiul vid clocotește în mod haotic de particule și unde nedetectabile în virtutea principiului incertitudinii din mecanica cuantică și, în ciuda faptului că marea majoritate a acestora nu se manifestă, ele vor favoriza, mai devreme sau mai târziu, debutul procesului inflaționist. Linde a numit acest proces inflație haotică.

Cercetătorii Universului au fost cel mai adesea sceptici în ceea ce privește posibilitatea cunoașterii evenimentelor de dinaintea Big Bang-ului. Un exemplu de astfel de opinie rigidă și destul de comună avea și Paul Francis, care le spunea în 2001 studenților de la Universitatea Națională Australiană: „Înainte de inflație, cu alte cuvinte înainte de Big Bang, intrăm în domeniul nebunesc al astronomiei: o extrapolare exagerată, bazată pe teorii incomplete ale marii unificări. Teorii precum cele ale lui Stephen Hawking și Andrei Linde se află, până în prezent, mult în afara oricăror posibilități de verificare și nici măcar trecerea timpului nu va contribui la confirmarea sau la infirmarea lor”.

„E periculos să afirmi despre ceva că este imposibil”, a replicat Linde care între timp se mutase la Stanford. După părerea acestuia, condițiile neobișnuite care au precedat Big Bang-ul nu se limitau la un punct îndepărtat și inaccesibil de dinaintea de începutul timpului. Aceste condiții sunt mereu prezente, deoarece crearea universurilor este un proces continuu, fără sfârșit. În opinia lui Linde, suntem înconjurați de universuri paralele, invizibile din cauza existenței lor în dimensiuni ale spațiului și timpului diferite de cele ale noastre.

„Evoluția teoriei inflaționiste”, a declarat Linde, „a dat naștere unei paradigme cosmologice cu totul noi, care diferă în totalitate de vechea teorie a Big Bang-ului și chiar și de primele versiuni ale scenariului inflaționist. Potrivit acesteia, Universul pare să fie în mod simultan haotic și omogen, în expansiune și staționar. Căminul nostru cosmic crește, fluctuează și se autoreproduce, în mod constant și în toate formele posibile, ca și cum s-ar ajusta la toate formele de viață posibile.

● Cum să-ți faci propriul univers

Când ideea de inflație a apărut în astrofizică, a dat naștere ipotezei referitoare la eventualitatea unui Big Bang produs accidental, de către fizicieni neîndemânatici care, utilizând în mod greșit acceleratoarele de particule, magnetii puternici sau razele laser, îndeplinesc din întâmplare condițiile producerii acestuia. Ideea a fost denumită „cosmologie de subsol” desemnând, cu alte cuvinte, posibilitatea fabricării unui univers în propria pivniță. La început, aceasta părea o idee terifiantă. Noul univers ar fi putut apărea ca o bombă colosală care ar anihila complet Pământul, împreună cu tot ceea ce îl înconjoară.

Pe măsură ce oamenii de știință s-au obișnuit cu ideea că alte universuri pot exista deja în alte dimensiuni, dincolo de cunoașterea și de puterea noastră de înțelegere, sensul problemei s-a schimbat. Imaginați-vă că frământați o bucată de aluat, suficient de puternic încât să declanșați inflația. Noul univers va rămâne în siguranță în cuptor, extinzându-se în alte dimensiuni. Acum, problema constă în cunoașterea rezultatului experimentului, iar în caz de succes, a unei modalități de comunicare cu noul univers.

Printre cei care credeau în posibilitatea fabricării unui univers a fost și Alan Guth, inițiatorul teoriei inflației de la Institutul de Tehnologie din Massachusetts. Acesta a afirmat: „Fabricarea unui univers în propria pivniță nu prezintă niciun risc. Acest fapt nu va înlocui universul din jurul nostru nici măcar în cazul în care universul creat ar crește extrem de mult. El își va crea propriul spațiu pe măsură ce se dezvoltă, detașându-se complet de universul nostru în mai puțin de o fracțiune de secundă și va evolua ca un univers închis și izolat – ajungând la proporții cosmice fără a modifica vreun teritoriu care ne aparține”.

Fabricarea propriului univers este încă un proiect ipotetic. Deocamdată nu a fost trimis spre aprobare agențiilor de protecția mediului sau Consiliului de Securitate

al ONU. Până atunci, nu ne rămâne decât să sperăm că Guth ori se înșală asupra acestei posibilități, ori are dreptate în ceea ce privește consecințele.

- *Despre speranțele imediate în înțelegerea naturii Universului, vezi FONDUL DE MICROUNDE. Pentru alte idei despre cercetarea mai profundă a Big Bang-ului, vezi UNDELE GRAVITAȚIONALE și RADIAȚIA COSMICĂ. Pentru alte perspective sau detalii, vezi UNIVERSUL, GRAVITAȚIA, SUPERCORZILE, ENERGIA NEAGRĂ și ANTIMATERIA.*



TOATE ANIMALELE SUNT EGALE”, declamau animalele răsculate din *Ferma animalelor* a lui George Orwell. Când porcii au adăugat mai târziu „dar unele sunt mai egale decât altele”, ei au apelat la adevărul biologic despre superioritatea capacității de supraviețuire a celui mai gras. Totuși, la sfârșitul secolului al 20-lea, unii biologi au ajuns la concluzia că prima afirmație, mai democratică, este mai aproape de adevăr.

Numărul de specii sălbatice diferite care populează o zonă depinde de topografie, de climă, de sol și de alți factori. Mai depinde și de minuțiozitatea cercetărilor pentru a le descoperi. În nicio altă ramură a științei „dovezile” nu sunt atât de subiective ca în ecologie. Această ambițioasă dar șubredă știință încearcă să explice relațiile dintre specii și mediul lor, care include mediul fizic și pe cel chimic, precum și activitățile altor specii, inclusiv specia umană. Ecosistemele studiate pot fi la fel de mici ca un eleșteu sau la fel de mari ca un continent.

Păsările sunt la modă și armate de amatori caută rarități. Cu ajutorul amatorilor se poate organiza un recensământ al păsărilor obișnuite, din când în când, pentru a le afla abundența relativă și distribuția geografică. Dar dacă vrei să afli mai multe despre lichenii mai puțin atrăgători de pe vârfurile munților sau despre insectele din copacii putreziți, este însă nevoie de ajutorul experților care sunt rarități și care nu pot fi în mai multe locuri deodată. Oricât de migăloasă ar fi munca lor, propriile interese și alegerea zonei fac ca observațiile lor să fie subiective la scara întregii biosfere.

Așadar, disensiunile practice și intelectuale discreditează ecologia. Specialiștii devotați care petrec săptămâni întregi numărând gândaci în pădurea tropicală sau o viață întreagă într-un muzeu comparând margaretele din diferite locuri, au o mentalitate și o pasiune diferite de cele ale teoreticienilor care se luptă pentru a transforma ecologia într-o disciplină exactă a științei, cu ipoteze generale confirmabile experimental. Doar puține minți luminate sunt capabile să vadă în același timp și pădurea, și copacii.

S-a scurs un secol din 1866, de când zoologul german Ernst Haeckel a inventat cuvântul *ökologie* de la grecescul *oikos* care înseamnă habitat, până când ecologia a ieșit din anonimat. În pofida publicării unor tratate cum ar fi *Ecologia animală* (1927) a lui Charles Elton, *Sociologia plantelor* (1932) a lui J. Braun-Blanquet și *Fundamentele ecologiei* de E. P. Odum (1959), disciplina nu s-a lansat cu adevărat până în anii 1960. Acest lucru s-a petrecut abia atunci când asociațiile de ecologiști, mici la acea vreme, au reușit să atragă atenția publicului asupra dispariției unor habitate și a unor specii din toată lumea, datorită neglijenței oamenilor. Efectele pesticidelor asupra viețuitoarelor sălbatice, evident mai ales în priveliștea păsărilor moarte și prin absența cântecului păsărilor, a generat reacția promptă a scriitorilor John Hillaby în *New Scientist* (Londra) și Rachel Carson în *The New Yorker* și în următoarea ei carte *Silent Spring* (Primăvara tăcută) (1962).

Kenneth Mellanby de la Centrul experimental Monks Wood din Marea Britanie era în miezul acțiunii în acea perioadă. Echipa lui a descoperit că, din cauza pesticidelor, coaja ouălor de pasăre este mai subțire și prin urmare mai ușor de spart decât a celor adunate de amatorii din epoca victoriană. Mellanby a fost însă precaut în ceea ce privește realizările ecologiei de până atunci. „Alertând guvernul și populația asupra pericolelor ce amenință mediul înconjurător”, scria el în 1973, „de obicei nu luăm în considerare toate informațiile necesare pentru fiecare caz, pentru a putea face evaluări definitive și a da sfaturi folositoare”.

● Metoda empirică a insulelor

Deși au existat plângeri la adresa activiștilor ecologiști, care își însușiseră numele unei științe cu reputație, ecologia deținea puține cunoștințe sigure de care ar fi putut să fie depozitată. Dimpotrivă, când preocuparea politicienilor pentru subiect a deschis robinetul finanțării, a devenit evident golul central al biologiei care susținea tautologic supraviețuirea celui mai adaptat. Supraviețuitorii sunt considerați cei mai adaptați tocmai pentru că supraviețuiesc – dar nu se știe de ce, căci interacțiunile lor cu mediul și cu alte specii nu sunt încă explicate.

Genele constituie zestrea unui organism pentru a putea supraviețui în mediul său și ele sunt permanent testate în toate zonele geografice unde trăiește organismul respectiv. Speciile vechi dispar și apar altele noi, ducând evoluția mai departe. Dar dacă nu se poate spune de ce o anumită specie sau subspecie este mai avantajată decât altele, lanțul explicațiilor se rupe înainte de a începe.

În mod convențional, biologii au presupus că avantajul poate fi datorat unei adaptări mai bune la climă, la compoziția chimică a solului, la hrană sau relațiilor prădător-pradă, șanselor de reproducere... lista posibilităților de adaptare umple cărțile de biologie, de biochimie și de genetică din biblioteci. Chiar și în acest caz, această listă s-ar putea să nu includă adevăratul motiv al avantajului unei specii care, probabil, este pur și simplu norocul chior.

În California, larvele cantaridei *Meloe franciscanus* joacă rolul calului troian. Ele se adună și înaintează șerpuind pe vârful frunzei astfel încât albinele *Habropoda pallida* le duc în stupii lor pentru că le confundă cu femelele propriei specii. Mii de asemenea adaptări inteligente îi fascinează pe biologii experimentalisti și pe telespectatorii serialelor științifice despre natură. Adaptarea însă are nevoie de timp pentru a evolua și poate da un răspuns eronat la întrebarea – cum au ajuns strămoșii gândacilor în poziție dominantă?

Un pas înainte pentru ecologie, începând cu anii 1960, a fost concentrarea studiilor asupra ocupării teritoriului și nu asupra adaptărilor.

Numele jocului era „anonimat”. Acest fapt a adus în domeniul biologiei o austeritate neobișnuită, de esență matematică. O analogie în context uman ar putea fi renunțarea la poveștile fierbinti de dragoste în favoarea recensământului populației, care arată consecințele numerice ale tuturor acestor povești.

În largul coastei Floridei, cercetătorii ecologi au acoperit câteva insule foarte mici cu corturi în care au introdus gaze toxice pentru a distruge toate formele animale de viață. Peste doi ani, insectele și păianjenii au recolonizat insulele cu aproape același număr de specii, deși nu neapărat aceleași. Rezultatele au pus bazele unei teorii a biogeografiei insulare, inițiată de Robert MacArthur și Edward Wilson la Princeton în 1967, care afirmă că numărul de specii de pe o insulă depinde de suprafața ei.

Insulele din teorie nu sunt neapărat înconjurate de apă. Ele pot fi înconjurate de sălbăticie în mijlocul continentului, poate un pâlț de pădure izolat de lava unui vulcan sau o rezervație naturală creată de om. O aplicație imediată a teoriei a fost să explice de ce numărul speciilor poate scădea dacă rezervațiile naturale devin din ce în ce mai mici. Un punct slab a fost acela că teoria nu dădea nicio predicție asupra raporturilor dintre numerele de exemplare ale diferitelor specii existente.

„Câte specii sunt pe Pământ?”, s-a întrebat biomatematicianul Robert May de la Princeton în 1988, iar răspunsul lui a fost: între 10 și 50 de milioane. Calculele au luat în considerare factori cum ar fi relația dintre prădător și pradă, precum și numărul imens de specii de animale foarte mici, care pot fi descoperite la prima vedere. May a observat cât de nesigure sunt informațiile despre selectivitatea speciilor de insecte care trăiesc sub scoarța arborilor în alegerea speciilor de arbori. Pe baza anumitor ipoteze, ca acelea enunțate de Terry Erwin de la Institutul Smithsonian, se poate ajunge la un număr de 30 de milioane de specii, numai de artropode.

Este bine de reținut că doar mai puțin de 2 milioane de specii au fost identificate și denumite. Biogeografia insulară a devenit o teorie de bază în calculul numărului de specii dispărute ca rezultat al distrugerii habitatelor. O regulă empirică spune că dacă habitatul pierde 1% din suprafață, va pierde și 0,25% din specii. Spre exemplu, să presupunem că pădurile tropicale adăpostesc 10 milioane de specii și pierd în fiecare an 1% din suprafață, atunci un calcul simplu ne arată că zilnic dispar 70 de specii care trăiesc în aceste păduri.

Nu are rost să ne întrebăm care anume specii dispar. Totul depinde de împrejurări, aproape fără nicio dovadă rezultată din observații. Această afirmație nu înseamnă că dispariția speciilor este doar o presupunere, ci că abordarea problemei este încă empirică. Progresul științific este împiedicat de zelul conservatoriștilor, astfel încât prevestitorii unor dezastre ecologice majore sunt întotdeauna ascultați, în timp ce oamenii care aduc vești mai bune nu sunt luați în seamă.

În 1988, Aldo Lugo de la Institutul de Silvicultură Tropicală din Puerto Rico s-a grăbit să afirme la o conferință din Washington că urmările despăduririi aproape complete a insulei sale la începutul secolului al 20-lea nu au fost atât de îngrozitoare precum au prezis teoreticienii despre alte locuri. O altă pădure a dat roade, după o regretabilă dar nu dezastruoasă dispariție a unor specii. „Aproape că am fost mâncat de viu de un conservacionist care țipa la mine în bufetul de la Smithsonian”, a povestit apoi Lugo despre acea conferință.

O informație rar menționată asupra acestui subiect este faptul că 90% din pădurea amazoniană dispăre o dată la 100 000 de ani, în decursul unei ere glaciare, din cauze naturale. Calculul făcut în cadrul teoriei biogeografiei insulare spune că milioane de specii ar fi trebuit să dispară, că ar fi avut loc o dispariție în masă în fiecare epocă glaciară, eveniment comparabil cu dispariția dinozaurilor. Totuși, pădurile tropicale au rămas practic în același stadiu după trecerea a zeci de ere glaciare. Așadar, ori numărul de specii dispărute a fost supraestimat, ori compensat de zeci de specii nou-apărute în fiecare an, mai mult decât estimările actuale de o singură specie nouă pe an.

● Transformarea și rolul șansei

După șocul aritmeticii demografice, era stringentă nevoie de informații detaliate asupra a ceea ce se întâmplă cu adevărat în păduri. Ecologiștii și-au dat seama că trebuiau să renunțe la orice speranță de a descrie un grup de specii o dată pentru totdeauna și să se bazeze pe un anumit „echilibru al Naturii” pentru a-l menține în acest fel. Ecosistemele sunt în continuă transformare datorită propriilor dinamici interne, chiar dacă nu există nicio tulburare datorată schimbării climei, activității umane sau oricărui alt factor exceptând lupta dintre specii pentru spațiul vital.

„Pădurea netulburată rămâne în mod evident de același fel”, remarcă în 1995 Navaratnam Manokaran de la Institutul de Cercetare a Pădurilor din Kepong, Malaezia. „Totuși ea continuă să se schimbe sub toate aspectele.” De la sfârșitul

anilor 1940, mici arii din cadrul rezervațiilor malaeziene de la șes și de la munte au făcut obiectul celei mai îndelungate monitorizări a pădurilor tropicale din întreaga lume. Atât zonele de șes cât și zonele de munte au o mare diversitate de arbori, pe fiecare arie de două hectare aflându-se între 240 și 260 de specii și sub-specii diferite.

Când Manokaran a vizitat din nou locurile, ca absolvent în 1985, a descoperit că 20% din speciile înregistrate în anii 1940 dispăruseră local. Alte specii cunoscute în alte părți ale pădurilor malaeziene le înlocuiseră pe cele dispărute. Fluctuația nu este remarcabilă, ținând cont că s-ar putea găsi diferențe mai mari de 20% dacă s-ar analiza pur și simplu o altă bucată de pământ, aflată la un kilometru depărtare.

Un studiu mult mai amplu asupra transformării naturale a speciilor de arbori tropicali a fost inițiat în Panama în 1981 și apoi a fost preluat de alte 12 țări – cel mai rapid la Pasoh, în Malaezia. Prototipul îl reprezintă 54 de hectare de pădure de pe insula Barro Colorado din Canalul Panama. Stephen Hubbell de la Institutul de Cercetare Tropicală Smithsonian împreună cu Robin Foster de la Muzeul Field din Chicago au condus o echipă care a înregistrat fiecare arbore și fiecare puiet care ajungea cel puțin până la piept și avea diametrul de cel puțin un centimetru.

Identificarea inițială a 300 000 de arbori a durat doi ani. Pentru a repeta procesul o dată la câțiva ani, era necesar efortul a peste 100 de oameni anual. Acest lucru ar fi fost nejustificat dacă Barro Colorado nu s-ar fi schimbat atât de repede. În doi sau trei ani au apărut creșteri și descreșteri semnificative ale numărului de exemplare pentru jumătate din numărul total de specii de arbori. Această continuă schimbare de șansă, unele specii câștigând iar altele pierzând, a fost observată la toate pădurile atent monitorizate.

Hubbell a ajuns la concluzia că totul era legat de șansă. Pentru darwiniștii tradiționaliști, aici se manifesta rezultatul uimitor al geneticianului japonez Motoo Kimura care, în 1968, afirmase în mod eretic că mutațiile neutre ale genelor sunt principala cale de evoluție genetică, la fiecare populație a fiecărei specii. Mutațiile neutre nu folosesc, dar nici nu dăunează indivizilor și astfel evită selecția naturală. Supraviețuirea sau eliminarea acestor mutații ține de șansă și poate fi studiată cu ajutorul metodei Monte Carlo, folosită la studiul probabilistic al jocurilor de noroc.

Văzând în aceeași lumină supraviețuirea sau dispariția speciilor dintr-un ecosistem, Hubbell a întregit erezia. El a extins neutralitatea de la nivelul genelor la cel al speciilor. Supraviețuirea speciei A sau dispariția speciei B nu are nimic de a face cu superioritatea înăscută a speciei A asupra speciei B. Speciile sunt, la o primă aproximare, neutru egale și chiar identice în sens matematic.

În 1994, Hubbell a elaborat o teorie unificată a biodiversității și a biogeografiei. El a definit „numărul fundamental al biodiversității”. Pentru a-l afla, trebuie

înmulțit numărul indivizilor dintr-o comunitate cu rata de migrare în regiune și cu viteza de apariție a noilor specii. Hubbell nu a ezitat să-și numească formula $E=mc^2$ a ecologiei cu toate că, așa cum a procedat și Mellanby înaintea lui, a rămas precaut în ceea ce privește statutul subiectului.

„Ne aflăm încă în Evul Mediu al cercetării biodiversității”, remarca Hubbell. „Încă mai disecăm corpuri pentru a vedea ce organe se află înăuntru.” Din această anatomie descoperim că speciile răspândite rămân răspândite și asta nu datorită superiorității, ci pur și simplu deoarece acestea au șanse mai mari de a se reproduce decât au speciile rare. Dacă rata de migrare scade, deoarece o comunitate devine tot mai izolată, speciile răspândite devin și mai răspândite, iar cele rare și mai rare. Iar în telescopul lui Hubbell, toate speciile arată la fel.

Această perspectivă egalitară este foarte șocantă pentru ecologiștii care și-au petrecut întreaga viață căutând motive speciale pentru succesele și eșecurile fiecărei specii în parte. După spusele lui Graham Bell, un fan al teoriei neutre de la Universitatea McGill din Montreal, este foarte greu de observat vreun efect pe scară largă al adaptărilor diferențiate ale speciilor în mediul lor – orice diferență între modurile de distribuție observate pe arii extinse în sălbăticie și ceea ce v-ați aștepta dacă fiecare plantă sau animal ar avea șanse egale de succes.

Nuca de cocos nu va crește în mlaștinile reci, remarcă Bell, deci la scară globală trebuie acordată o anumită importanță adaptabilității. După părerea lui, există însă puține dovezi că speciile care vin din regiuni îndepărtate ar fi în dezavantaj față de cele autohtone, cu excepția doar a numărului lor, stabilit de rata de migrare.

Conform lui Bell, teoria neutră oferă o nouă bază conceptuală, atât pentru a înțelege comunitățile de specii, cât și pentru a inventa metode de conservare a naturii. Ea reunește multe fenomene aparent incompatibile într-o singură perspectivă. Modificările numărului de exemplare din fiecare specie ar trebui să fie anticipate numeric.

„Teoria neutră a abundenței și a diversității va avea cu siguranță limitele ei”, recunoaște Bell. „Adaptarea este, în definitiv, un lucru cert, iar teoria va da greș la scările taxonomică și geografică, la care adaptările specifice s-au dezvoltat. Rămâne de văzut care sunt aceste limite.”

● Controversa luminișurilor

Lăsând la o parte aprecierile teoretice, era de așteptat ca ecologiștii să dea sfaturi practice în scopul conservării naturii. Hubbell se afla în centrul controversei referitoare la luminișuri, care sunt un fel de imagine în negativ a microinsulelor din biogeografia insulară. Bunul simț sugerează că golurile din păduri, create de arborii prăbușiți, ar încuraja diversitatea, oferind o șansă speciilor iubitoare de lumină, pur și simplu eclipsate înainte de arborii bătrâni.

În 1973, după monitorizarea timp de șapte ani a prosperității florilor sălbatice în mai multe habitate de mlaștină din nordul Angliei, Philip Grime de la Sheffield

a ajuns la o concluzie generală. El susținea faptul că diversitatea speciilor atinge maximul în locurile unde viața nu este nici foarte ușoară, nici foarte grea, sau în locurile unde intervin, dar nu prea mult, factori exteriori: pășunatul, cositul, incendiile sau bătătorirea. Motivul este că privațiunile moderate și/sau un grad moderat de administrare frânează speciile dominante.

Grime și-a numit ideea „un model cu cocoasă”, referindu-se la forma graficului diversității speciilor în funcție de stres. Câțiva ani mai târziu, analizând „legendară” varietate de specii din pădurile tropicale și din recifurile de corali, Joseph Connell de la UC Santa Barbara oferea o generalizare similară cu ultima parte a afirmației lui Grime: „Cea mai mare diversitate corespunde mijlocului scalei perturbării”. Ideea urma să fie numită în Statele Unite ale Americii „ipoteza perturbării medii”.

Aplicată la pădurile tropicale, ipoteza însemna că daune moderate provocate de furtuni, sau poate de defrișările temporare prin incendiere pentru agricultură, chiar și de colonizarea umană limitată, ar trebui să mărească numărul de specii într-o zonă. Ideea că intervenția umană moderată ar putea să fie mai puțin dăunătoare decât se credea până atunci, că ar putea chiar să ajute la menținerea biodiversității, i-a înfuriat pe ecologiști.

Apărătorii pădurii tropicale s-au mai liniștit când Hubbell și colegii lui au declarat, în 1999, că ideea luminișurilor beneficătoare era falsă. Pe insula Barro Colorado din Panama există într-adevăr specii care se bazează pe luminișuri pentru a supraviețui, dar semințele lor nu sunt împrăștiate pe scară largă. În lipsă de suficiente noi specii, cele existente deja se descurcă mai bine decât acelea oportuniste, iubitoare de lumină, în umplerea luminișurilor. Nu există o diferență semnificativă în numărul total de specii, indiferent dacă această pădure are mai multe sau mai puține luminișuri.

Pădurea tropicală Paracou din Guyana Franceză are o altă poveste, motiv pentru care Jean-François Molino și Daniel Sabatier de la Institutul de Cercetare pentru Dezvoltare din Montpellier au pus la îndoială valabilitatea generală a rezultatelor lui Hubbell din Panama. Între 1986 și 1988 tăietorii de lemne au defrișat o parte din pădurea Paracou, în unele zone intensiv iar în altele sporadic. Restul pădurii a rămas neatins pentru comparație.

La zece ani după aceste evenimente, locurile ușor defrișate au avut cu aproximativ 25% mai multă biodiversitate la speciile de arbori decât locurile neatinse. Motivul principal a fost sporirea numărului de specii iubitoare de lumină care creșteau în pădure. Recensământul a 17 000 de arbori, din șapte zone defrișate și trei zone neatinse, a luat în calcul toți arborii care aveau diametrul mai mare de doi centimetri și erau înalți până la piept. S-au cumulat 546 de specii de arbori, în comparație cu 303 din pădurea panameză.

Pentru a explica rezultatele lor foarte diferite, oamenii de știință francezi au explicat că pădurea lui Hubbell din Panama fusese foarte afectată de secete

cumplete. Acestea au permis dezvoltarea speciilor iubitoare de lumină, astfel încât perturbările minore ulterioare nu au avut efecte prea mari. O altă diferență constă în faptul că evaluarea situației din Paracou a fost efectuată după trecerea unei perioade mai lungi de timp de la producerea modificărilor.

„Ipoteza perturbării medii rămâne o explicație valabilă pentru marea diversitate de specii de arbori tropicali”, au concluzionat Molino și Sabatier. Ei au avut totuși grijă să sublinieze că rezultatul este valabil numai pe mici porțiuni defrișate într-o zonă care altfel nu a fost perturbată timp de secole. „Studiul nu oferă nicio dovadă în favoarea defrișărilor comerciale pe scară largă”, a afirmat Molino.

● Experții în specii contraatacă

Ecosistemele din Europa despădurită mai au încă multe de spus. Acest lucru nu se datorează doar faptului că impactul evident al agriculturii intensive, al industrializării și al creșterii populației oferă o avanpremieră a ceea ce s-ar putea întâmpla în țările cu economii în curs de dezvoltare. Pe continentul unde știința lor a fost inventată, relativ mulți ecologiști au acces la principalele rezervații naturale, unde schimbările au fost monitorizate de mai multe decenii, dacă nu chiar de secole. Există, și asupra acestor zone, controverse instructive.

Crearea de ecosisteme artificiale a devenit chiar o modă în Europa, spre sfârșitul secolului al 20-lea. Aceasta însemna defrișarea completă a unei parcele de pământ, curățarea solului de orice semințe preexistente și semănarea semințelor unor specii selectate. Se așteptau apoi rezultatele, eliminând toate plantele nedorite.

În perioada 1995–1996, a fost inițiat, ca proiect al Uniunii Europene, cel mai mare experiment ecologic de acest fel din lume, numit Biodepth. Acesta a implicat 480 de parcele de pământ, fiecare având câte doi metri pătrați, distribuite în câte opt localități diferite din șapte țări: Irlanda, Germania, Grecia, Portugalia, Suedia, Elveția și Marea Britanie. Parcelele imitau pășunea, așa că întotdeauna exista cel puțin o specie ierboasă și apoi oricare de la 0 la 31 de alte specii alese la întâmplare dintr-o listă de specii de pășune, pentru a reprezenta diferite nivele ale biodiversității. Dintre cele 200 de combinații diferite de specii de plante testate, selecția a fost în unele cazuri „aranjată” intenționat pentru a se asigura prezența legumelor care fixau azotul pentru fertilizarea parcelei.

Cercetătorii determinau productivitatea fiecărei parcele prin greutatea uscată a țesuturilor vegetale recoltate de la o înălțime mai mare de cinci centimetri față de sol. Rezultatele lor au fost publicate în revista *Science* în 1999, sub semnăturile a 34 de oameni de știință. Purtătorul lor de cuvânt era John Lawton de la Imperial College din Londra, care spunea că Biodepth dovedea faptul că o scădere a diversității plantelor reduce productivitatea pășunii.

Acest rezultat, politic corect pentru activiștii ecologiști, a fost susținut chiar de un comunicat al Uniunii Europene. „Dovada lor experimentală trebuie să transmită un mesaj clar politicianilor europeni, și anume faptul că păstrarea și refacerea bio-

diversității este benefică pentru menținerea productivității pășunilor.” Societatea Ecologică din America a inclus rezultatul Biodepth într-un raport despre politica biodiversității, prezentat în fața Congresului și a Administrației Statelor Unite.

O ripostă imediată a venit din partea altor doisprezece ecologiști din Australia, Franța, Noua Zeelandă, SUA și Marea Britanie. Într-un comentariu tehnic din revista *Science*, aceștia au declarat că Biodepth nu a dovedit ceea ce a susținut. O nouă analiză arată, spuneau ei, că informația cea mai clară rezultată din aceste date este importanța deosebită a plantelor ce fixează azotul în creșterea productivității. Cel care s-a evidențiat printre acești critici a fost Grime de la Sheffield, creatorul „modelului cu cocoșă”, cel care a anticipat ipoteza perturbării medii. Din punctul lui de vedere, de cercetător de o viață al pășunilor britanice, el recunoștea că parcelele de pământ experimentale ar putea fi de folos pentru testarea principiilor ecologiei, dar nu putea fi trasă nicio concluzie importantă asupra administrării pășunii, deoarece metodele erau cu totul nerealiste.

„În anumite cazuri, acestea au inclus sterilizarea solului, folosirea unui amestec de nisip cu îngrășământ în loc de sol natural, dar nu s-au aplicat pășunatul, băătorirea pământului și tratamentele cu îngrășământ natural asupra unei vegetații ce conținea specii care au evoluat în ecosistemele naturale de pășune”, acuza Grime.

Dincolo de asemenea dezbateri tehnico-politice, se afla adevărata întrebare, și anume: dacă diferența între specii contează sau nu? Oare pendula teoretică s-a deplasat prea departe în direcția de a le considera pe toate egale? Oare experții în specii nu mai pot contribui cu absolut nimic la dezvoltarea ecologiei, în afară doar de simpla identificare taxonomică?

De la început, din anii 1970, modelul cu cocoșă al biodiversității realizat de Grime acorda importanță caracteristicilor diferitelor specii. De exemplu, printre florile sălbatice engleze, zburătoarea este o floare de culoare roz, cu frunze lungi, un soi de rododendron, *Chamaenerion angustifolium*. Datorită înălțimii, formei și vitezei de creștere, această plantă are tendința, de cele mai multe ori, de a copleși toate celelalte specii erbacee de câmpie. Grime i-a asociat rășcoagei un „index de competitivitate” foarte ridicat.

În extrema cealaltă se află plante cu o rezistență sporită la stres. Așa cum îi spune și numele, păiușul oilor, *Festuca ovina*, este o plantă căreia îi plac terenurile pășunate, dar în rest este un competitor slab, care dispare acolo unde se termină terenul de pășunat. Dispariția unor astfel de specii, odată cu îmbunătățirea condițiilor de mediu (lipsa stresului), ne determină să avem dubii cu privire la o legătură simplă între productivitatea pășunilor și biodiversitate. Mai mult, deoarece speciile au strategii diferite de adaptare la schimbările mediului, este greu de crezut că aceste strategii pot fi ignorate de o teorie a ecologiei completă și folositoare din punct de vedere politic.

Pădurile tropicale și pășunile din zonele temperate sunt doar două dintre tipurile de ecosisteme ale Pământului, dar ele au atras eforturi uriașe de cercetare în

ultimele decenii. Dacă sunteți pesimiști, atunci veți fi dezamăgiți să aflați că oamenii de știință încă nu s-au pus de acord în privința lor. Dacă sunteți optimiști, atunci puteți privi disputele asupra luminișurilor din pădurea tropicală sau asupra productivității pășunilor ca un semn că știința în acest domeniu este în efervescentă. Problemele vor fi rezolvate nu prin idei preconcepute, ci prin noi investigații. Totul rămâne în discuție, atât în înțelegerea principiilor fundamentale, cât și în acțiunile capabile să conserve biodiversitatea, în timp ce populația globului continuă să crească.

- Pentru alte abordări privind încercările de a face din ecologie o știință exactă, vezi **EVOLUȚIA ECOLOGICĂ**, care introduce genetica, și **BIOSFERA DIN SPAȚIU** pentru o perspectivă de ansamblu. Ideea că niciun sistem terestru actual nu este „natural” este detaliată în **PRĂDĂTORI**. Cu privire la diversele aspecte ale conservării, vezi **ECOLOGIA UMANĂ**.

BIOSFERA DIN SPAȚIU



„Vreau să cuprind toată lumea”

ÎN ANUL 1972, în timp ce Washingtonul era zguduit de scandalul Watergate, agenții sovietici au cumpărat pe furie de pe piața liberă un sfert din recolta de grâu a Statelor Unite pentru a suplini producția dezastruoasă din URSS. Când „uliii” Războiului Rece și-au dat seama ce se întâmplă, au cerut mai multe informații despre starea agriculturii din blocul comunist. Armata de analiști foto care prelucra imaginile obținute de sateliții-spion a ajuns să numere atât căpițele de paie cât și rachetele nucleare. S-au făcut presiuni asupra NASA și asupra oamenilor de știință din aeronautică pentru a se pune la punct noi metode de măsurare a stării vegetației.

În lumina din spectrul vizibil, pădurile și pășunile par aproape negre dacă sunt privite de sus, însă acestea reflectă puternic în infraroșul apropiat, ale cărui lungimi de undă sunt doar cu puțin mai mari decât ale luminii roșii. Radiația în infraroșu combinată cu lipsa luminii roșii este semnul caracteristic al vegetației terestre văzută din spațiu. Diferența de intensități, infraroșu minus roșu, raportată la intensitatea totală, permite să se observe variațiile de luminozitate ale zonei.

Astfel se obține un indicator extrem de folositor al stării vegetației (indexul de vegetație). În anul 1977, imaginile transmise de satelitul Landsat al NASA au detectat corect o scădere în producția de grâu a URSS. Astfel, determinarea indexului de vegetație a devenit o metodă de studiu a biosferei terestre în scopuri științifice, umanitare și de protecție a mediului.

Deschizător de drumuri în acest domeniu a fost biofizicianul Compton Tucker de la Laboratorul NASA de Fizica Pământului din Maryland. Înainte de a se alătura echipei NASA, lucrând la Universitatea de Stat din Colorado, Tucker a descoperit că originea semnăturii vegetale era determinată de structura optică a frunzelor. El a concluzionat că sateliții nu alcătuiau doar harta vegetației. De sus, aceștia măsurau, regiune cu regiune, lumina emisă de plantele în dezvoltare.

De fapt, senzorii din spațiu monitorizează activitatea pigmentului verde – clorofila – din toate frunzele din zona explorată. Aceasta absoarbe energia solară necesară vieții pe Pământ, pentru a produce zaharoză din dioxid de carbon și apă și pentru a elibera oxigenul ca produs derivat. Deoarece plantele nu conțin mai multă clorofilă decât este necesar, indexul de vegetație măsoară viteza de creștere a vegetației.

● O privire asupra Africii

Tucker i-a uimit pe cei de la NASA spunând că sateliții Landsat erau mai puțin eficienți în studiul vegetației decât cei ai unei agenții rivale, National Oceanic and Atmospheric Administration (Administrația Națională a Oceanelor și Atmosferei). Satelitul NOAA-7, lansat în 1979, a fost printre primii dotați cu un fotometru numit AVHRR. Deoarece acesta măsoara radiațiile roșii și pe cele din infraroșul apropiat emise de la suprafața Pământului, era un bun instrument pentru studiul vegetației.

Spre deosebire de sateliții Landsat, sateliții NOAA furnizau zilnic date din fiecare regiune. Acesta era un lucru important în urmărirea schimbărilor vegetației și în depistarea zilelor senine din regiunile înorate. Utilizatorii sateliților Landsat trebuiau să aștepte uneori mai mult de un an până să măsoare, într-o zi senină, o zonă de interes. Specialiștii au subliniat că sateliții NOAA realizează media datelor din zone cu diametrul de cel puțin 4 kilometri, în timp ce sateliții Landsat sunt de 50 de ori mai preciși. Tucker a replicat însă: „Vreau să cuprind toată lumea”.

A început cu Africa. În colaborare cu John Townshend de la Reading, el a întocmit hărți ale modificărilor vegetației în fiecare anotimp, cu ajutorul datelor transmise de satelitul NOAA. Au fost identificate cu ușurință pădurile, savanele, deșerturile și altele. Tucker și Townshend au realizat o hartă a Africii cu zonele de vegetație împărțite în șapte tipuri. Aceasta arăta exact ca hărțile realizate în 100 de ani de muncă perseverentă de către exploratori înarmați cu caiete, macete și chinină.

Realizarea hărților prin satelit doar șezând comod în fața calculatorului într-o suburbie a Washingtonului nu a fost cea mai importantă recompensă. Cartografierea vegetației se poate face suficient de rapid pentru a observa schimbările acesteia în timp real, anotimp de anotimp, an de an. Hărțile au demonstrat că zvonurile despre extinderea spre sud a Saharei, peste regiunea Sahel, erau eronate.

Organizația Națiunilor Unite pentru Alimentație și Agricultură din Roma a introdus hărțile satelitare într-un sistem de avertizare rapidă pentru Africa. Acesta putea detecta tipul specific de vegetație care favorizează înmulțirea lăcustelor și putea observa efectele secetei în zonele nelocuite, efecte care prevesteau foametea. Astfel, dacă acțiunile de prevenire a foametei erau prea lente pe atunci, aceasta nu era din vina oamenilor de știință.

● Realitatea din teren în Kansas

Biosfera cuprinde totalitatea formelor de viață de pe Pământ, fiind un înveliș al planetei alături de atmosferă, hidrosferă și criosferă – aer, apă, gheață. Până spre sfârșitul secolului al 20-lea, biosfera a fost un concept static, reprezentat sub forma unei rețele de zone biogeografice. Au existat estimări despre biomasa tuturor plantelor și animalelor și despre producția primară anuală netă, dar toate acestea erau incomplete și nesigure. Spre exemplu, un studiu asupra a patru continente, condus de David Hall de la King's College din Londra, a arătat că ecologii au subestimat productivitatea pășunilor tropicale de patru ori.

După ce Tucker a întocmit hărți cu toate continentele, folosind indexul de vegetație, imaginea biosferei a devenit mult mai dinamică. Transformate în filme, aceste hărți prezintă terenurile din emisfera nordică ca fiind sterpe și lipsite de clorofilă în timpul iernii. Primăvara aduce apoi dinspre sud o maree de flori. Vara, zonele musonice din Asia și Africa explodează de viață, în timp ce vegetația din nord devine din ce în ce mai bogată, pentru a se retrage spre sud odată cu venirea toamnei.

În emisfera sudică este primăvară în perioada toamnei din nord. Aceeași succesiune de explozii și de retrageri ale vegetației urmează în sud, dar în anotimpuri complementare. Schimbarea nu pare atât de bruscă deoarece uscatul este mult mai puțin extins. Calculând asimetria nord-sud, Tucker a descoperit că indexul mediu de vegetație pentru toată suprafața de uscat a planetei se dublează între ianuarie și iulie. Acest fapt este în perfect acord cu schimbările sezoniere ale cantității de dioxid de carbon din aer, care descrește puțin în fiecare an, în timpul verii din emisfera nordică, pentru că vegetația abundentă consumă mai mult dioxid de carbon pentru a se dezvolta.

Pentru a-și aprofunda cercetările, Tucker și-a unit forțele cu Piers Sellers, un exemplu perfect al crizei în studiul academic al mediului înconjurător. Student la ecologie în Marea Britanie, Sellers se plictisise să învețe din ce în ce mai mult despre din ce în ce mai puțin, prin studii extrem de detaliate asupra unor mici parcele de pământ. Ca și Tucker, el a vrut să cuprindă toată lumea. Dorința lui a

fost să studieze relația dintre plante, apă și vreme, iar în timpul liber să-și perfecționeze cunoștințele de fizică.

În Maryland, Sellers a creat pe calculator primul model al biosferei. Era un model pentru prognoze meteo care permitea vegetației să determine modalitățile în care uscatul interacționează cu atmosfera. De exemplu, plantele pompează apa din sol în aer, evaporarea fiind unul dintre procesele luate în considerare în acest model.

Ori de câte ori plantele absorb dioxid de carbon din aer, ele pierd apă prin porii microscopici sau stomatele frunzelor. Din acest motiv, multe plante nu cresc după-amiaza, când aerul este mai uscat și pierderile de apă s-ar accelera. În timpul secetei, creșterea nu se mai face nici dimineața. Când plantele se ofilesc, indexul de vegetație scade. Acest lucru poate fi interpretat ca un simptom al solului uscat și, prin urmare, al evaporării reduse din sol și din frunze.

În 1987 și 1989, aceste idei au fost testate pe arii întinse din Kansas. Locul ales a fost Rezervația Preriei Konza din Flint Hills, care nu a fost cultivată datorită terenului stâncos. Crescătorii de vite sosiți pe aceste meleaguri s-au luat la întrecere cu predecesorii lor amerindieni dând foc ierbii pentru a proteja preria din această regiune ploioasă de creșterea copacilor.

Experimentele au comparat datele satelitare cu observațiile din avion și de la nivelul solului pentru a verifica realitatea din teren. Ele au confirmat legăturile multiple identificate de Tucker și Sellers dintre indexul de vegetație ca măsură a luminii emise de plante, asimilarea dioxidului de carbon, creșterea plantelor, și transpirația și evaporarea apei.

● Creșterea vertiginoasă a pădurilor din Rusia

„Alte locuri sunt diferite, dar nu cu mult mai diferite”, a comentat Sellers după finalizarea experimentelor din Kansas. Experimente similare desfășurate în Rusia, Canada, Africa și Brazilia i-au confirmat opinia. Modelul lui inovator de biosferă a simulat toate zonele cu vegetație naturală, de la tundra arctică până la pădurile tropicale, prin combinațiile a numai trei factori: sol fără vegetație, sol acoperit cu iarbă și sol cu arbuști sau copaci. Mai mult, a reușit simulări destul de bune în cazul suprafețelor cultivate, terenurilor de golf și al altor peisaje construite de om.

Alți cercetători au continuat să propună noi modele de biosferă, în special pentru a examina posibilitatea existenței unei legături între vegetație și schimbările climei. Un asemenea studiu, în care au fost implicați Sellers și Tucker, a modelat influența diferitelor cantități de vegetație observate din satelit din 1982 și până în 1990. Rezultatele au sugerat că o creștere a densității vegetației ar determina un efect de răcire puternică, compensând astfel parțial creșterea globală a temperaturii.

În 2000, când a fost publicat acest raport, Sellers se antrena ca astronaut la NASA pentru a observa biosfera de pe Stația Spațială Internațională (ISS).

Monitorizarea sistematică a vegetației cu ajutorul sateliților fără personal uman la bord se desfășura deja de două decenii. Tucker a colaborat cu o echipă de la Universitatea din Boston care a prelucrat datele înregistrate zilnic în toată această perioadă pentru a studia modificările pe termen lung.

Între 1981 și 1999 observațiile din spațiu arătau că tendința vegetației era de creștere viguroasă pe perioada unor anotimpuri favorabile mai lungi. Cele mai drastice efecte s-au remarcat în Eurasia la 40° latitudine nordică, aproximativ pe linia Napoli-Beijing. Vegetația a crescut în densitate și nu în suprafață.

Creșterea vegetației a fost evidentă în pădurile care acoperă o fâșie largă, la latitudini medii, ce se întinde din centrul Europei, străbate toată Rusia pe toată lățimea sa, până în Orientul Îndepărtat. În medie, primele frunze apăreau cu o săptămână mai devreme, iar toamna întârzia cu zece zile. La aceleași latitudini medii, în America de Nord, datele transmise de sateliți arătau o creștere a pădurilor din New England și a pajiștilor din nordul regiunii vest-centrale a SUA. Aici schimbările erau mai puțin evidente decât în Eurasia, iar durata perioadei de creștere era oarecum mai mică.

„Observăm că, de la an la an, modificările creșterii și ale duratei perioadei de creștere a vegetației din emisfera nordică sunt strâns legate de schimbările temperaturii medii anuale”, a afirmat Liming Zhou de la Boston.

● Culoarea mării

Viața pe Pământ este de două ori mai productivă pe unitatea de suprafață decât viața din mare, dar oceanele au o suprafață de două ori mai mare. Fiind utilizat doar pentru uscat, indexul de vegetație satelitar abia acoperă jumătate din biosferă. Pentru restul, trebuie măsurată din spațiu productivitatea „ierbii de mare”, algele verzi microscopice ale fitoplanctonului care plutesc în apele de la suprafață încălzite în lumina soarelui.

Navele oceanografilor pot lua probe de alge numai în anumite locuri și ocazional. Așadar, măsurătorile din satelit sunt mult mai necesare pentru oceane decât pentru uscat. Estimările productivității oceanului, de la cele mai mici la cele mai mari, nu diferă la procente ci cu un factor de 6. Lumina infraroșie emisă de plantele de pe uscat nu poate fi măsurată la plantele marine care plutesc sub suprafața mării. Cercetătorii trebuie așadar să apeleze la culoarea mării din spectrul vizibil.

„Zburând de la Plymouth spre vest, spre zonele de pescuit macrou, trecem peste o linie subțire care separă apele verzi ale Canalului Mânecii de apele de un albastru intens ale Atlanticului”, remarca în 1956 Alister Hardy de la Oxford. De la altitudinea la care a ajuns cu avionul, faimosul biolog marin a redescoperit fenomene cunoscute pescarilor de multă vreme – și anume că apa cea mai „fertilă” este verde și întunecoasă și că limitele ei sunt precis conturate. Granița de la ieșirea Canalului Mânecii spre Atlantic marchează limita fertilizării prin elementele nutritive aduse la suprafață de către marea.

În 1978, satelitul american Nimbus-7 a intrat pe orbită, fiind dotat cu o mulțime de instrumente destinate observării de la distanță a Pământului. Printre acestea era și un scanner color pentru zonele de coastă, care identifica prezența clorofilei în plantele marine. În contrast cu denumirea lui, măsurătorile acestui scanner în largul oceanului erau mult mai sigure decât cele de la țărmuri, unde apele sunt murdare.

Timp de opt ani de folosire intermitentă, scannerul color a furnizat imagini minunate ale „înfloririi” Atlanticului de Nord și Pacificul de Nord în timpul primăverii, asemănătoare celei de pe uscat observate cu ajutorul indicelui de vegetație. Noile imagini, incluse în manuale, au indicat o fertilitate ridicată a regiunilor în care apa bogată în elemente nutritive iese la suprafață din adâncuri. Ecuatorul s-a dovedit a fi nu doar o linie imaginară, ci și o centură verde, de clorofilă, separând regiunile mai albastre și mai puțin fertile ale oceanelor tropicale din nord și sud.

Dar pentru așa-zișii „contabili” ai biosferei, datele obținute de Nimbus-7 erau prea nesistematice și incomplete. Calcule mai detaliate au fost puse la dispoziție odată cu lansarea de către NASA în 1997 a lui Orb-View-2, primul satelit capabil să monitorizeze întreaga biosferă, atât uscatul, cât și marea. Un instrument cu un nume neobișnuit, SeaWiFS, a combinat senzorii de lumină roșie și infraroșie folosiți pentru determinarea indexului de vegetație pe uscat cu un scanner color performant pentru apa mării.

SeaWiFS scana întreaga lume la două zile. După trei ani, oamenii de știință au fost în măsură să anunțe productivitatea primară netă a tuturor plantelor marine și terestre, dedusă din datele satelitare. Numărul obținut era, după scăderea cantității de carbon eliberate prin respirația plantelor, de 111 până la 117 miliarde de tone de carbon absorbite din aer și fixate prin fotosinteză, pe durata unui an.

Lansarea satelitului a coincis cu perioada de încălzire puternică a zonei Pacificului de Est din anii 1997–1998, proces cunoscut sub numele de El Niño. În timpul lui El Niño, oceanul tropical este sarăcit în minerale necesare vieții și de aici valoarea scăzută a rezultatelor lui SeaWiFS. Un rezultat mai bun s-a observat în perioada de răcire a Pacificului: La Niña. Între anii 1997–2000 productivitatea oceanului a crescut cu aproape 10%, de la 54 la 59 de miliarde de tone pe an. În aceeași perioadă, productivitatea uscatului a sporit doar puțin, de la 57 la 58 miliarde de tone de carbon fixat, deși trecerea de la El Niño la La Niña a adus cu sine schimbări mai drastice în anumite regiuni.

Diferențele nord-sud erau deja cunoscute din observațiile spațiale ale vegetației de pe uscat. Ponderea majoritară a uscatului în nord pune scăderea sezonieră a concentrației dioxidului de carbon din aer pe seama plantelor care cresc acolo vara. Rezultatele SeaWiFS au arătat că și productivitatea în timpul verii este mai ridicată în Atlanticul și Pacificul de Nord decât în oceanele din sud, mult mai vaste. „Înfloririle” sunt mai intense în nord.

„Înfloririle din timpul verii în emisfera sudică sunt limitate de lumină și de lipsa cronică a elementelor nutritive de bază, mai ales a fierului”, a remarcat Michael

Behrenfeld de la Laboratorul de Științe Hidrosferice al NASA, principalul autor al primului raport despre datele transmise de SeaWiFS. „Dacă emisfera nordică și cea sudică «ar înflori» la fel în verile respective, productivitatea oceanului ar fi mai ridicată cu aproximativ 9 miliarde de tone de carbon.”

În acest caz, productivitatea oceanului ar depăși-o pe cea a uscatului. Deși mai există incertitudini legate de calculul ambelor componente ale biosferei, nu se poate nega asemănarea dintre dezvoltarea plantelor terestre și cea a celor marine. Estimările anterioare ale productivității oceanului au fost prea scăzute.

● Noi opinii

Studiul biosferei este încă la început de drum. Nici nu putea să fie început înainte de Era Spațială, pentru că era nevoie de armate enorme de oameni de știință, pe uscat și pe ape, pentru a aduna informații. La începutul secolului al 21-lea, prioritățile politice s-au reorientat de la producția de grâne sovietică la rolul sistemelor vii în reducerea emisiilor de dioxid de carbon datorate omului. Posibilele utilizări ale împăduririlor sau ale fertilizării oceanelor pentru a controla nivelul dioxidului de carbon prezentau deja interes pentru negociatori.

În paralel cu înmulțirea observațiilor spațiale asupra biosferei, ecologiștii au modelat pe calculator productivitatea plantelor. Diferențele dintre rezultatele lor arată cât de lung este drumul care mai trebuie parcurs. De exemplu, într-un studiu din anul 2000, rezultatele mai multor calcule asupra cantității de dioxid de carbon preluat de plante și de sol în sud-estul Statelor Unite între anii 1980 și 1993 difereau de mai mult de trei ori. Asemenea incertitudini subminează încercările de a transforma ecologia globală într-o știință mai exactă.

Îmbunătățirile vor veni în urma unor date mai precise, mai ales în urma observațiilor din spațiu asupra variabilității anuale a creșterii plantelor de pe uscat și a celor marine. Acestea vor ajuta să se pună în evidență contribuția diversilor factori și evenimente. Providențiala coincidență a lansării SeaWiFS cu dramaticul eveniment climatic El Niño a fost un exemplu edificator.

Un număr din ce în ce mai mare de sateliți aflați pe orbită determină indexul de vegetație și culoarea mării. Misiunile spațiale din viitor vor utiliza mult mai multe lungimi de undă din vizibil și din infraroșu și se vor folosi de diverse unghiuri de observație pentru a obține mai multe informații. Oamenii de știință nu-și vor lăsa neterminată treaba bine începută.

- *Vezi de asemenea CICLUL CARBONULUI. Pentru informații despre vegetația de la nivelul solului, vezi BIODIVERSITATEA. Pentru informații despre componentele biosferei invizibile din spațiu, vezi BACTERIILE EXTREMOFILE.*



BIȚI ȘI QUBIȚI

Lumea digitală și mirajul umbrei sale cuantice

DACĂ AȚI FI VIZITAT LABORATOARELE BELL din New Jersey și ați fi întâlnit pe coridor un bărbat pe un monociclu, acesta ar fi fost probabil Claude Shannon, mai ales dacă făcea și jonglerii în același timp. După spusele soției sale, „a fost, în facultate, un gimnast mai bun decât credea lumea”. Poznele sale din afara orelor de serviciu erau tolerate deoarece lui i-au aparținut două dintre ideile cele mai importante din istoria tehnologiei informației, fiecare putând fi comparată cu descoperirea roții pe care obișnuia să se plimbe.

În 1937, pe când era un tânăr student în vârstă de 21 de ani al facultății de inginerie electrică a Institutului de Tehnologie din Massachusetts, Shannon a prevăzut posibilitatea de a transmite decizii logice prin simplele relee comandate electric. Să presupunem că două relee reprezintă propozițiile X și Y. Dacă releul este deschis, propoziția este falsă, iar dacă este închis atunci propoziția este adevărată.

Conectând releele în serie, un curent poate să le străbată doar dacă și X ȘI Y sunt adevărate. Dacă se leagă releele în paralel, atunci curentul va trece dacă X SAU Y sunt adevărate. Așa cum Shannon a accentuat în dizertația sa finală, dihotomia fals/adevărat poate fi foarte bine reprezentată prin cifrele 0 sau 1. El a scris: „Este posibilă efectuarea operațiilor matematice complexe utilizând circuite cu relee”.

Alan Turing din Anglia și John von Neumann din SUA sunt celebri în istoria informaticii pentru ideile lor despre mașinile programabile, din anii 1930–1940, când spargerea codurilor și alte necesități militare au dus la inovații rapide în domeniu. Releele electrice au deschis drumul triodelor (valvelor termionice) din primele computere și mai apoi tranzistorilor produși din materiale semiconductoare. Un fapt este clar, porțile tânărului Shannon, ȘI și SAU, reprezintă încă principiul de bază în proiectarea și funcționarea microcipurilor din fiecare calculator digital, în timp ce aritmetica binară a lui 0 și 1 conduce activitatea de producție a lumii.

Shannon și-a adus cea de-a doua contribuție semnificativă la viața modernă în timpul activității sale la Laboratoarele Bell. În 1934, el și-a dat seama că cifrele 0 și 1 pot reprezenta informații cu mult diferite de cele logice și aritmetice. Multe întrebări cum ar fi „Mă iubești?” duc la un simplu răspuns prin da sau nu, ce

poate fi comunicat foarte simplu printr-un singur 1 sau 0, o cifră binară (binary digit). Un bit, după cum a numit-o Shannon pe scurt. Elementele de comunicare mai complicate – un text de exemplu – necesită mai mulți biți. Este ușor de calculat câți, iar aceasta reprezintă o măsură a informației conținute într-un mesaj.

Dacă aveți un mesaj de atâția biți, cât de repede îl puteți transmite? Aceasta depinde de câți biți pe secundă poate transmite canalul de comunicație. Se poate măsura capacitatea unui canal utilizând aceleași unități binare, iar calculul lungimii mesajului și al vitezei de comunicare pot fi aplicate oricărui sistem: litere scrise în telegrafie, voci la radio, imagini în televiziune sau chiar unui porumbel poștaş, limitat de greutatea pe care o poate duce și de acuitatea vederii destinatarului.

Când se folosește un canal electromagnetic, capacitatea teoretică exprimată în biți pe secundă depinde de domeniul de frecvență. Un radio necesită zeci de kilohertzi, în timp ce imaginile televizate necesită megahertzi. Canalele reale de comunicații au o capacitate reală de transmisie mai mică decât cea teoretică, datorită interferenței surselor externe și a zgomotului generat intern, dar se poate îmbunătăți fidelitatea transmiterii mesajului prin lărgirea benzii sau prin transmiterea lui mai lentă.

Shannon și-a perfecționat în continuare ideile de unul singur, fără a discuta nici cu cei mai apropiați colegi. Se distra lucrând, dar redactarea lucrării pentru publicare a fost dificilă. Articolul său, devenit clasic, „O teorie matematică a comunicării”, nu a fost trimis spre publicare decât în 1948 și a fost acceptat imediat. Shannon și-a creat propria ramură a științei, fără să deranjeze pe nimeni. Propunerile sale, cu totul noi și surprinzătoare, au fost rapid înțelese și adoptate unanim.

Cel mai senzațional rezultat obținut de matematica lui Shannon a fost acela că permitea existența unei comunicări aproape perfecte, dacă se convertește informația ce urmează a fi transmisă în limbaj digital. De exemplu, lumina conținută de un element de imagine (pixel) poate fi indicată nu ca intensitate relativă, ci ca un număr, exprimat în unități binare. În loc de a fi aproximativ corectă, ca în cazul sistemelor analogice, intensitatea luminii va fi acum precis corectă.

Sistemele științifice și militare au fost primele care au folosit intensiv principiile lui Shannon. Publicul larg a devenit tot mai conștient de lumea digitală prin intermediul calculatoarelor personale și al muzicii stocate digital pe compact discuri (CD-uri). La sfârșitul secolului al 20-lea, radioul, televiziunea și înregistrările video digitale au ajuns să fie larg răspândite.

Noi inovații spectaculoase au fost realizate după „mariajul” dintre calcul și comunicarea digitală, aducând astfel resursele informaționale din întreaga lume în biroul sau în sufrageria noastră. De la necesitatea unui tip de comunicare care să supraviețuiască unui dezastru nuclear, s-a ajuns la Internet, dezvoltat întâi ca Arpanet de către US Advanced Research Project Agency. Acesta oferea un mijloc de a găsi căi de comunicare într-un sistem telefonic aproape distrus, în

care multe conexiuni fuseseră întrerupte. Aceasta a fost originea poștei electronice (e-mail). La mijlocul anilor 1980, mulți informaticieni și fizicieni foloseau rețeaua, iar din 1990 responsabilitatea sistemului a fost preluată de Fundația Națională pentru Știință a Statelor Unite din mâinile armatei.

Între timp, la CERN, laboratorul european de fizica particulelor de la Geneva, creșterea complexității experimentelor a impus realizarea unor legături digitale avansate între laboratoarele participante, răspândite pe o mare suprafață. Aceasta i-a stimulat pe Tim Berners-Lee și pe colegii săi să inventeze, în 1990, World Wide Web-ul (rețeaua extinsă în întreaga lume) și, în următorii câțiva ani, toată lumea a început să se conecteze la aceasta. Impactul World Wide Web-ului asupra activităților umane a fost comparabil cu cel al apariției trenului cu abur în secolul al 19-lea, fiind însă mult mai rapid.

Tocmai pentru că sistemele tehnologiei moderne a informației sunt atât de cunoscute, este foarte greu de apreciat cât de inovative și fundamentale au fost ideile lui Shannon. Iată câțiva indicatori științifici care reflectă acest lucru. Din perspectiva principiilor termodinamicii, informația măsurabilă este exact opusul entropiei, care înseamnă descompunerea unor forme înalte de energie în căldură și dezordine. Viața însăși este o luptă continuă a informației ereditare împotriva dezordinii mortale, iar Mama Natură a apelat demult la informația digitală. Teoria matematică a lui Shannon asupra comunicării se aplică atât codului genetic cât și impulsurilor binare deschis-închis care ne străbat creierul chiar în momentul în care citim aceste rânduri.

● Primii pași spre computerul cuantic

Pentru o a doua revoluție în domeniul tehnologiei informaționale, experții s-au orientat către comportamentul bizar al electronilor și atomilor cunoscut din mecanica cuantică. În 2002, fizicienii australieni au realizat echivalentul releelor lui Shannon din urmă cu 65 de ani, dar acum comutatoarele nu mai lucrează cu biți ci cu qubiți. Ei speră că primul calculator cuantic va fi operațional înainte de sfârșitul primului deceniu al secolului al 21-lea.

În vreme ce releele electrice și succesorii lor electronici din microcipuri au posibilitatea de a exprima opțiuni simple cum ar fi închis/deschis, adevărat/fals, 1/0 sub formă de biți, qubiții din dispozitivele cuantice corespunzătoare pot avea mai multe stări. Teoretic, este posibilă realizarea unui calculator foarte rapid prin utilizarea incertitudinilor care sunt prezente tot timpul în mecanica cuantică.

Dacă nu suntem siguri că un electron dintr-un atom se află pe un nivel energetic posibil sau pe nivelul imediat următor permis, atunci se poate considera că el se găsește pe ambele nivele energetice simultan. În termeni informatici, aceasta reprezintă simultan atât 0 cât și 1. Două asemenea incertitudini ne oferă patru numere 00, 01, 10 și 11, care sunt numerele binare echivalente ale binecunoscutele cifre 0, 1, 2 și 3 din sistemul zecimal. Trei incertitudini dau naștere la 8

numere și așa mai departe, până când cu 50 de incertitudini avem un milion de miliarde de numere reprezentate simultan în calculatorul cuantic. În teorie, computerul ar putea opera cu toate numerele în același timp.

Astfel de bizarerii cuantice îi sperie chiar și pe spioni. Serviciile secrete mondiale sunt încă angajate într-o competiție veche de secole: crearea și spargerea de coduri. Au apărut noi concepte denumite algoritmi de criptare cuantici OTP (one-time pad) imposibil de decriptat folosind tehnologia existentă, și se speră că viitoarele calculatoare cuantice vor sparge majoritatea codurilor deja existente. Cine știe ce fel de cercetări se desfășoară chiar acum în secret, așa cum a făcut Alan Turing la Bletchley Park, în Anglia în timpul celui de-Al Doilea Război Mondial?

O opinie larg împărtășită la începutul secolului al 21-lea a fost aceea că, pentru moment, cercetările în domeniul calculatoarelor cuantice nu au aplicații practice. Se aprecia că era necesară o finete desăvârșită atât în construcție cât și în operare, existând pericolul iminent ca o interferență externă oricât de mică, sau o scurgere prematură de informație din sistem să producă o cădere în lanț a întregului proces de calcul paralel, asemenea unor piese de domino.

Statul american Colorado și Austria au găzduit centrele în care s-au făcut primii pași spre un calculator cuantic practic anunțat pentru 2003. La Institutul Național de Standarde și Tehnologii al SUA s-a acționat cu fascicule laser asupra unei perechi de ioni de beriliu în vid. Dacă ambii ioni aveau același spin, fasciculul laser nu avea niciun efect, dar dacă aveau spinii opuși, fasciculele îi făceau să se respingă reciproc temporar și să-și schimbe spinii în concordanță cu legile subtile dar predictibile ale mecanicii cuantice.

În același timp, o echipă de la Universitatea din Innsbruck a anunțat utilizarea unei perechi de ioni de calciu. În acest caz, fasciculele controlează ionii individual. Au fost create și „citite” toate combinațiile posibile de spini paraleli și antiparaleli. Comentând acest progres, Andrew Steane de la Centrul Oxford de Calcul Cuantic a declarat: „Acest experiment reprezintă, pentru mine, primul indiciu că există o reală posibilitate de a realiza porți logice cu precizie de unu la mie sau chiar la zece mii, care poate fi evaluată la mulți qubiți”.

Calculul cuantic nu este doar o nouă tehnologie. Pentru David Deutsch de la Oxford, care în 1977 a introdus conceptul de calculator cuantic, s-a deschis o nouă cale de a explora natura Universului prin aspectele sale cuantice. În particular, s-a ilustrat teoria „multiversului” cuantic, enunțată, de asemenea, de Deutsch.

Multiplele incertitudini ale mecanicii cuantice reprezintă, în teoria lui, universuri multiple, ca al nostru, care coexistă în paralel cu ceea ce cunoaștem; a nu se confunda ideea lui Deutsch cu universurile multiple prezentate de anumite teorii ale Big-Bang-ului. Acelea au spațiu și timp separate de ale noastre, în timp ce universurile din multiversul cuantic se presupune că operează în cadrul Universului nostru, care prezintă o bogăție și o complexitate ascunse de ochii muritorilor.

„În calculul cuantic complexitatea evenimentelor este foarte mare, astfel încât, filozofic vorbind, a le explica devine o obligație inevitabilă”, a spus Deutsch. „Aceasta va avea implicații filozofice pe termen lung, exact în același fel în care legile lui Newton au afectat dezbaterile asupra anumitor concepte cum ar fi determinismul. Nu este vorba însă de folosirea legilor lui Newton în diverse dezbateri, ci de faptul că ele există și dau culoare multor discuții filozofice. Sunt sigur că acest lucru se va petrece și cu calculatoarele cuantice.”

- Pentru informații asupra noțiunilor de bază din mecanica cuantică și asupra comunicațiilor la distanțe lungi criptate cuantic, vezi **CONEXIUNEA CUANTICĂ**.

BOLILE PLANTELOR



O cursă evoluționistă a înarmării sau doar un război de gherilă?

CARTOFII SUNT UȘOR DE CULTIVAT, și când au fost aduși prima dată în Irlanda, îți puteai întreține familia muncind aproape tot timpul pentru marii proprietari. Acest sistem social feudal a funcționat până în 1845, când un inamic al cartofului a sosit, purtat de vânt, de pe continentul european. Era mana cartofului *Phytophthora infestans*. Petele negre și mucegaiul alb de pe frunze anunțau putrezirea cartofilor.

Marea Foamete Irlandeză, care a ucis și a exilat milioane de oameni, nu a fost nici primul, nici ultimul caz când o cultură agricolă a fost distrusă complet de boală. Chiar mana cartofului a produs multe greutăți pe tot cuprinsul Europei. Efectele sale au atins dimensiuni istorice în Irlanda deoarece fermierii continuau să exporte grâne în timp ce locuitorii erau lăsați să moară de foame. Cu cuvintele lui Jane Francesca Wilde (mama lui Oscar Wilde):

E o mulțime mândră de soldați – ce fac în jurul ușii tale?

Păzesc grânarele stăpânului de mâinile uscate ale săracilor.

Cel puțin 20% din producția agricolă mondială se pierde astăzi din cauza dăunătorilor, paraziților și agenților patogeni, iar procentul ajunge la 40% în Africa și în Asia. Bolile plantelor pot devasta, de asemenea, speciile din sălbăticie, așa cum s-a întâmplat cu ciuperca *Cryphonectria parasitica*. Aceasta a atacat scoarța copacilor, distrugând și ultimii castani americani între 1904 și 1926. Dar culturile

agricole intensive sunt, de obicei, mult mai vulnerabile la epidemiile distrugătoare decât plantele sălbatice, deoarece sunt formate din specii cu o bază genetică limitată.

În războaiele dintre specii care s-au dezlănțuit încă de la apariția vieții, oamenii cred adesea că inamicii lor naturali sunt felinele mari, urșii, rechinii, crocodilii și șerpii. De fapt, ravagiile făcute de aceste animale mari sunt nesemnificative în comparație cu cele produse de microbi ce generează boli. Aceștia fie afectează direct oamenii, fie îi înfometează atacându-le proviziile de hrană.

Nu există nicio diferență de principiu între conflictele dintre organisme de diferite dimensiuni. Toate implică arme de atac și de apărare, fie că este vorba de canini mai ascuțiți contra piei mai tari, sau virusuri noi contra anticorpi moleculari. Date fiind posibilitățile de îmbunătățire existente de ambele părți, biologii au numit războiul dintre specii o cursă evoluționistă a înarmării.

Sistemele ereditare oferă o mai mare rezistență naturală contra bolilor atât la plante, cât și la animale. Multe medicamente naturiste sunt împrumutate din arsenalul de arme chimice ale plantelor. O viziune de ansamblu a sistemului genetic implicat în lupta împotriva bolilor a devenit disponibilă în anul 2000, când un consorțiu european-american-japonez de laboratoare implicat în proiectul Inițiativa Genomului de Arabidopsis (Arabidopsis Genome Initiative) a descifrat fiecare genă a arabidopsisului, care este o plantă de dimensiuni mici.

Gene foarte variabile numite R de la rezistență, din care arabidopsis deține 150, oferă modalitatea de identificare a diferitelor tipuri de paraziți și agenți patogeni ce atacă planta. Recunoașterea unui inamic declanșează mecanisme de apărare în care moleculele semnalizatoare activează diferite gene de apărare și, câteodată, comandă celulelor infectate să moară. Zeci de gene implicate în aceste acțiuni au fost evidențiate de experimente, dintre care opt se presupune că sunt răspunzătoare pentru un puseu respirator care atacă intrusul cu oxigen în formă deosebit de reactivă.

Plantele dedică multă energie, în sensul literal, protecției împotriva bolilor. Menținerea protecției împotriva fiecărui inamic posibil este totuși prea mult pentru o singură creatură. Însă populațiile își împart sarcinile între indivizi, prin variabilitatea lor genetică, mai ales în ceea ce privește genele R. Modul în care are loc această distribuție a sarcinilor defensive îi preocupă intens pe cultivatorii de plante și, de asemenea, pe teoreticienii evoluționiști.

● Din cauza unui ghepard mai rapid

Competiția dintre boli și victimele lor este un caz de coevoluție, ceea ce înseamnă o interacțiune care durează destul de mult timp pentru a permite speciilor să evolueze împreună. Florile, nectarul, fructele și fructele nucifere sunt cel mai frumos exemplu. Ele s-au dezvoltat ca momeală pentru animale care ajutau astfel polenizarea plantelor și răspândirea semințelor. Insectele, păsările și multe alte animale printre care și strămoșii noștri primatelor au profitat de ofrandele florale

și au evoluat ele însele în moduri noi. De exemplu, prin coevoluție, se pare că atât florile cât și albinele au avut de câștigat.

Mult mai antagonistă, și prin urmare probabil mai reprezentativă, este competiția dintre ierburi și animalele erbivore. Frunzele întărite de minerale ar putea distruge dinții unui rumegător ocazional, dar animalele care pasc au dobândit dinți ce cresc pe tot parcursul vieții, pentru a compensa uzura. Ca și competiția dintre plante și boli, aceasta amintește de geniștii ce încearcă să se întreacă unul pe altul, cu proiectilele și scuturile lor împotriva proiectilelor. Dar prețul armamentelor moderne fiind în continuă creștere, capacitatea de atac sau de apărare impune o taxă pentru resursele fiecărei creaturi.

Când arborii „se luptă” pentru lumina solară într-o pădure deasă, pot ajunge mult mai înalți pentru a nu fi în umbră. Rezultatul este că toate speciile de arbori ce se află într-o competiție a înălțimii tind să devină mai puțin eficienți. Frunzele din coroană care sunt expuse luminii soarelui nu se dezvoltă în întregime, dar trebuie să furnizeze energie pentru construirea și menținerea trunchiurilor alungite, care nu sunt folositoare decât pentru a le oferi înălțime arborilor.

Reflectând asupra luptelor și competițiilor neconținute dintre specii, Leigh van Valen de la Chicago a propus, în 1973, o nouă lege a evoluției. Chiar dacă circumstanțele fizice, cum ar fi clima, nu se schimbă, a gândit el, fiecare creatură este continuu dezavantajată de schimbările care apar la celelalte specii, alături de care evoluează. Astfel, este obligată și ea să evolueze, pentru a-și menține poziția relativă din ecosistem.

Van Valen și-a numit ideea „principiul Reginei de Cupă”, citându-l pe Lewis Carroll în cartea sa *Prin oglindă*. „Aici, vezi tu, trebuie să alergi cât de tare poți pentru a rămâne în același loc”, i-a explicat lui Alice piesa de șah, gâfâind. „Dacă vrei să ajungi în altă parte, va trebui să alergi cel puțin de două ori mai repede.”

William Hamilton de la Oxford a oferit, în 1982, o altă perspectivă care făcea referire mai ales la boli. El afirma că rolul principal al reproducerii sexuale este să amestece și să redistribuie genele pentru rezistența la boli printre indivizii unei specii. Chiar dacă o boală pătrunde pe scară largă, vor exista indivizi bine înarmați în punctele-cheie, care nu pot fi doborâți. Astfel, speciile defensive vor supraviețui pentru a se lupta și ziua următoare. Esența jocului este să ții minte toți adversarii întâlniți în trecut, care ar putea reapărea în viitor.

Dintre mamiferele-dușmani, ghepardul devine mai rapid, iar gazela mai ageră în reacții și se pot strecura mai bine prin iarba înaltă. Pentru Richard Dawkins, tot de la Oxford, cursa evoluționistă a înarmării a stat la baza evoluției. Explicația pe care a dat-o în cartea sa *Ceasornicarul orb (The Blind Watchmaker)*, 1986, despre modul în care organisme complexe, magnifice de pe Pământ ar fi putut fi create de forțele oarbe ale fizicii, a fost fundamentată pe ipoteza cursei înarmării.

„Fiecare îmbunătățire genetică nouă selectată de o parte a cursei înarmării – să spunem, a prădătorilor – modifică mediul pentru selecția genelor de cealaltă

parte – a prăzii”, scria Dawkins. „Aceste competiții au fost răspunzătoare de calitatea evident *progresivă* a evoluției, de evoluția și îmbunătățirea continuă a vitezei de alergare, a deprinderii de zbor, a acuității văzului, a fineții auzului, și așa mai departe.”

● Arme străvechi

Teoriile cu privire la cursa înarmărilor au rămas doar simple ipoteze până la sfârșitul secolului al 20-lea, când progresele biologiei moleculare au făcut posibilă verificarea lor experimentală. Aceasta a început cu experimentele lui Joy Bergelson de la Chicago, care a cerut masteranzilor săi să examineze cu atenție gena ce conferă plantelor rezistență împotriva infecției cauzate de mica bacterie *Pseudomonas syringae*, ce provoacă mana frunzelor tinere. S-a constatat că gena antipseudomonas Rpm1 a unei plântuțe, arabidopsis, avea aproape 10 milioane de ani vechime.

Ideea ingenioasă care i-a condus la această concluzie, în anul 1999, a fost examinarea ancorelor care mențin genele în lanțul lung al acidului dezoxiribonucleic (ADN). Ancorele sunt alcătuite din scurte porțiuni de ADN dar, spre deosebire de gena în sine, nu reprezintă mesaje genetice importante. Drept urmare, pot acumula în voie mutații haotice din subunitățile de ADN, în decursul timpului. Marea variabilitate din ancorele genei Rpm1 a permis echipei de la Chicago să estimeze vârsta genei.

Conform perspectivei progresiste a cursei evoluționiste a înarmării propuse de Dawkins, ne-am putea aștepta ca fiecare specie să fie înarmată până în dinți cu cele mai moderne arme. Nu ne-am aștepta să vedem un soldat parașutist înarmat cu arc și săgeți. Totuși, gena Rpm1 împotriva bacteriei ce produce mana frunzelor este, din acest punct de vedere, o piesă dintr-o colecție de antichități.

„Teoria cursei înarmării a fost un model al evoluției genelor rezistente la boli unanim acceptat deoarece este intuitiv, dar nu a fost niciodată testată științific”, a comentat Bergelson. „Rezultatele noastre ne-au surprins prin faptul că au demonstrat că la gena rezistentă pe care am studiat-o nu apărea o competiție a înarmării.”

Ea a oferit în schimb metafora războiului de gherilă. La plante, epidemiile de boli alternează cu perioade de mare rezistență, ducând la atacuri și retrageri necontenite atât ale plantelor, cât și ale agenților patogeni. Se poate ca genele care și-au dovedit valoarea în trecut să fie reținute la nesfârșit, în timp ce altele, din altercațiile recente, pot să dispară.

În 2000, când proiectul Inițiativa Genomului de Arabidopsis a obținut cele 150 de gene R pentru rezistența la boli, Bergelson și grupul ei au putut verifica destul de temeinic întreaga viziune evoluționistă. S-a confirmat ideea războiului de gherilă. Cercetătorii au descoperit multe dovezi ale adaptării rapide a apărării pentru a face față noilor pericole din trecut, dar și multe antichități. Deși genele R indică o mare varietate de vârste, sunt departe de a fi tinere, după cum se aștepta conform cursei progresiste a înarmării descrise de Dawkins.

După verdictele moleculare inițiale referitoare la arsenalul plantelor pentru rezistența la boli, ce mai rămâne din ideile secolului al 20-lea despre cursa evoluționistă a înarmării? Coevoluția este reconfirmată ferm ca un factor al evoluției. Există corespondențe biunivoce între proteinele produse la comanda genelor R și alte proteine aparținând organismelor ce provoacă bolile, prin care planta își recunoaște inamicul.

Principiul Reginei de Cupă al evoluției continue, care implică atât posibilitatea retragerii cât și a atacului, rămâne o bază solidă în analiza generală a coevoluției și armamentului său. Ideea lui Hamilton că sexul este o modalitate de a redistribui responsabilitatea rezistenței la boli între indivizi, cu mari variații în seturile lor de gene R, a fost susținută puternic de primele rezultate moleculare obținute în cazul plantei arabidopsis. Sunt necesare însă confirmări și în cazul altor specii, și poate cu alte tehnici moleculare.

Va fi necesară o nouă teorie matematică pentru a explica în detaliu varietatea de vârste a genelor R și legătura pe care o are aceasta cu bătăliile din trecut, în care bolile triumfau câteodată, alteori se retrăgeau, în timpul unor războaie de gherilă ce au durat mai multe milioane de ani. Dezvoltarea și testarea unei asemenea teorii va continua probabil în strânsă legătură cu noile cercetări din ecologia moleculară. Obiectul cercetării îl vor constitui tiparele rezistenței plantelor sălbatice existente în prezent, care pot fi asociate cu cele mai recente boli experimentate de acestea.

- Referitor la istoria genomului de arabidopsis, vezi **ARABIDOPSIS**. Referitor la teoria lui Hamilton, vezi **CLONAREA**. Referitor la bolile grâului și orezului, vezi **CEREALELE**. Referitor la legătura dintre cancerul bacterian și ingineria genetică, vezi **CULTURILE TRANSGENICE**. Referitor la competiția înarmării împotriva bolilor umane, vezi **SISTEMUL IMUNITAR**. Referitor la alte perspective moleculare asupra coevoluției, vezi **ALCOOLUL** și **ENZIMELE GLOBALE**. Referitor la perspectivele generale asupra evoluției, vezi **EVOLUȚIA** și referințele de acolo.



BOSONII HIGGS

Cercetări de miliarde de dolari pentru descoperirea
particulelor producătoare de masă

IN ZILELE DE GLORIE DE ALTĂDATĂ ALE EDINBURGH-ULUI, fizica era denumită „Filozofie Naturală”. Cercetările se desfășurau într-un spital renovat din centrul vechiului oraș. Vizavi se afla Departamentul de Fizică Matematică al Institutului Tait, numit în onoarea lui Peter Tait, fizician teoretician din secolul al 19-lea, care a scris prima lucrare științifică despre traiectoria mingilor de golf. Însă din nefericire Institutul Tait nu mai există acum, iar fizica s-a adaptat etichetei „Fizică” în campusul științific situat la periferie, pe ruta autobuzului 42.

Pe când turiștii luau locul studenților în orașul vechi pe perioada vacanței de vară a anului 1964, Peter Higgs filozofa la Institutul Tait despre conținutul spațiului vid. Oricât de calm ar fi părut pentru oricine se uita în camera lui, el purta un război al ideilor. În acele vremuri, ideile științifice nu circulau sub forma mesajelor electronice, ci sub formă de scrisori, lucrări științifice și reviste distribuite prin poștă.

În acest mod, Higgs a primit pe adresa Institutului cel mai recent număr al revistei *Physical Review Letters*. Un articol incitant i-a stârnit gândirea matematică, într-atât încât într-o săptămână Higgs a elaborat o idee importantă, cunoscută în prezent sub denumirea de mecanismul Higgs. Acesta explică originea masei, pornind de la presupunerea că particulele de materie sunt încărcate cu energia condensată existentă în spațiul vid.

Lupta intelectuală desfășurată în anul 1964 nu se referea la chestiuni ezoterice, ci la motivele pentru care orice cântar de baie ar trebui să indice o greutate atunci când ne cântărim. Teoriile existente la acea vreme erau incapabile să justifice masele diferitelor particule care formează atomii de materie obișnuită. În anul 1957 a apărut o rază de speranță, odată cu teoria metalelor supraconductoare, care își pierd complet proprietatea de rezistență electrică la temperaturi foarte joase.

Supraconductibilitatea depinde de formarea perechilor de electroni și de asocierea acestora în ceea ce fizicienii numesc condensarea Bose-Einstein. (Satyendra Nath Bose a fost un teoretician indian, iar Einstein – cel mai fervent susținător al său). Perechile de electroni aflate în starea condensată se pot deplasa liber printre ionii atomilor de metal, imune la interacțiunea cu ionii pozitivi și cu

cei negativi, care în mod normal frânează electronii. Ar putea o asemenea structură condensată să justifice masa materiei?

Primul care a fructificat această idee a fost Yoichiro Nambu, la Chicago. El a conceput existența unor particule speciale, diferite de constituenții normali ai materiei, care se grupează în spațiul vid și sunt purtători ai energiei colective. Conform celei mai celebre afirmații a lui Einstein, această energie era echivalentă cu masa. Ideea a atras și alți teoreticieni, printre care și Higgs, însă s-a izbit de o dificultate.

Jeffrey Goldstone de la CERN, laboratorul european de fizica particulelor din Geneva, a enunțat o teoremă care părea să anihileze ideea. Aceasta obliga unele dintre particulele lui Nambu să aibă masa zero. Astfel a apărut o nouă controversă, iar Philip Anderson de la Laboratoarele Bell din New Jersey a presupus că există un alt efect cunoscut de specialiștii în fizica particulelor care l-ar putea anihila pe cel al lui Goldstone. Alții au considerat că relativitatea ar putea fi utilizată într-un mod mai corect și mai subtil.

Respingerea celui mai recent remediu al problemei Goldstone, publicată în *Physical Review Letters*, i-a provocat lui Higgs o rafală de inventivitate, atunci când revista a ajuns la Edinburgh. Mai întâi el a scris un articol în care evidenția greșelile argumentației de respingere. Apoi a regândit întreaga problemă, punând cap la cap ideile lui Nambu, ale lui Anderson și ale altora. El a descoperit astfel cum să creeze, cel puțin matematic, condensarea Bose-Einstein a particulelor grele din spațiul vid și cum să adauge energia acestora altor particule. Tipul specific de particulă grea necesar condensării a fost denumit bosonul Higgs.

● „Ești faimos, Peter”

Fără a cunoaște rezultatele lui Higgs, François Englert și Robert Brout de la Universitatea Liberă din Bruxelles au ajuns la aceeași idee, deși fără a explica, așa cum o făcuse Higgs, de ce condensarea particulelor grele are prioritate. *Physical Review Letters* a respins articolul inițial al lui Higgs, în care explica această teorie. Însă el l-a rescris într-un limbaj mai comercial (după spusele sale), și a indicat o modalitate de a insera această idee în teoriile particulelor și forțelor subatomice aflate pe atunci în curs de elaborare.

Doar câțiva teoreticieni au luat în considerare acest fapt, iar mulți au fost ostili. Higgs a ținut un discurs în fața unora dintre aceștia la Harvard, în 1966. Unul dintre fizicienii de la Harvard a mărturisit mai târziu că el și echipa sa „abia așteptau să se distreze desființându-l pe acest idiot care spera să remedieze teorema lui Goldstone”. Comentariul lui Higgs a fost : „Poate că s-au distrat ei, dar și eu m-am distrat”.

Teoria lui Higgs a început să câștige suporteri în anul 1967. Mecanismul său a fost integrat în prima teorie completă a așa-numitei forțe nucleare slabe, care generează radioactivitatea și necesită particule-mesager masive. Această teorie

unifica forța slabă cu forța electrică, iar mecanismul lui Higgs asigura particule-mesager pentru forța slabă, surorile mai grele ale particulelor forței electrice – fotonii. Până în anul 1971 s-a eliminat o eventuală inadvertență a acestei teorii. „La acea dată, teoria începea să devină credibilă”, și-a amintit Higgs. „Un coleg care s-a întors de la o întâlnire de la CERN mi-a spus: «Ești faimos»”.

În 1993 ministrului britanic al științelor, William Waldegrave, i s-a solicitat să finanțeze din bani publici un proiect internațional desfășurat la CERN, care urma să cerceteze bosonii lui Higgs. El a oferit șampanie ca premiu celui care îi va da o explicație succintă a fenomenului, în termeni accesibili. Acestuia i-a plăcut prezentarea făcută de David Miller, fizician la University College din Londra, care a comparat analogic marea de bosoni Higgs, umplând spațiul, cu un cocktail de oameni politici. Aceștia erau distribuiți uniform până în momentul intrării în cameră a fostului prim-ministru britanic Margaret Thatcher.

„Ea îi atrage pe toți politicienii din preajmă, care se grupează în jurul ei”, scria Miller. „Pe măsură ce se deplasează prin cameră, ea atrage oamenii pe lângă care trece, în timp ce oamenii pe care i-a lăsat în urmă se întorc la locurile lor. Din cauza grupului de oameni care o înconjoară mereu, ea dobândește o masă mai mare decât cea normală, cu alte cuvinte, ea are un impuls mai mare la aceeași viteză de deplasare prin cameră.” Transpusă în trei dimensiuni și combinată cu complicațiile teoriei relativității, această descriere reprezintă mecanismul lui Higgs de a conferi masă particulelor, a afirmat Miller.

Un aspect instructiv al acestei analogii ar fi acela că nimeni nu ar îndrăzni să împiedice deplasarea lui Margaret Thatcher. Ea nu are nevoie să-și croiască drum prin mulțime, ca și când s-ar deplasa prin melasă (sau printr-un lichid vâscos), așa cum ar trebui să facă alte persoane importante. Nu există frecare în mecanismul lui Higgs. Însă mulțimea de oameni reprezintă starea condensată a particulelor care îi conferă masă particulei Thatcher.

● Un joc lent de șah

Cercetările pentru punerea în evidență a bosonului lui Higgs au devenit, la sfârșitul secolului, o industrie de multe miliarde de dolari, care angrena mii de fizicieni și ingineri. Această cercetare exprima o calitate eroică a fizicii energilor înalte, în genul tradiției căutării Lânii de Aur sau a Sfântului Graal. Toate predicțiile despre forța slabă realizate cu ajutorul teoriei s-au confirmat, în principal în cadrul experimentelor de la CERN, prin care s-au descoperit particulele-mesager numite bosoni W și Z. Teoria a fost, de asemenea, inclusă în cel mai faimos scenariu despre originea Universului, Big Bang-ul.

Bosonul Higgs a rămas un fel de fantomă invizibilă. Pentru a-l expune publicului, ar fi necesară concentrarea unei cantități suficiente de energie pentru producerea acestuia, printr-o coliziune subatomică fantastică. Se presupunea că particula ar fi de 100 de ori mai grea decât un atom de hidrogen. Aceasta ar depăși puterea celor mai performante acceleratoare de particule existente în anii 1990.

Posibilitatea ca următoarea mașinărie gigantică să creeze bosonii Higgs a devenit o momeală pentru agențiile finanțatoare și politicienii de pe ambele coaste ale Atlanticului. Ce putea fi mai important decât descoperirea agentului care se presupune că ar determina creșterea masei altor particule din întregul cosmos?

Un fizician american remarcabil, Leon Lederman, promova bosonii Higgs ca fiind „*Particula Dumnezeu*”, în titlul unei cărți publicate în anul 1993. El justifica acest apelativ prin faptul că bosonii Higgs ar fi „atât de importanți pentru fizica actuală, atât de fundamentali pentru înțelegerea completă a structurii materiei, însă atât de ascunși percepției”. Ca o glumă, el a afirmat în cartea sa că editorul nu i-a permis să îi numească „particule blestemate”.

Lederman s-a implicat într-o campanie pentru a convinge guvernul Statelor Unite să continue finanțarea Super Acceleratorului de Coliziune Supraconductor (Superconducting Super Collider sau SSC), un accelerator de particule extraordinar care se construia în Texas. Acesta ar urma să folosească magneti supraconductori foarte puternici pentru a ghida particulele pe o traiectorie inelară cu o circumferință de 83 de kilometri. SSC-ul a fost un proiect mult prea fantastic chiar și pentru cea mai bogată națiune a lumii. Nici nu se uscase bine cerneala pe paginile cărții lui Lederman când Congresului Statelor Unite a decis să renunțe la miliardele de dolari deja cheltuite pentru proiect și să înceteze să-l mai caute pe Dumnezeu în acest mod.

Mingea era acum în terenul CERN-ului, care avea deja un plan pentru un super-accelerator mai ieftin, conceput inițial ca un mod de a depăși SSC-ul în ceea ce privește descoperirea bosonilor Higgs. Marele Accelerator de Coliziune Electron-Pozitron de la CERN (Large Electron-Positron Collider LEP) ocupa un tunel cu o circumferință de 27 de kilometri la granița dintre Elveția și Franța. Chiar dinainte de începerea funcționării acestui dispozitiv LEP în anul 1989, europenii se gândeau deja să amplaseze un dispozitiv mult mai puternic în același tunel. Acesta ar fi fost format din magneti supraconductori și ar fi determinat coliziunea protonilor cu antiprotoni în loc de cea a electronilor cu antielectroni. Marele Accelerator de Coliziune cu Hadroni (Large Hadron Collider), LHC, ar fi eliberat o energie și mai mare în vederea producerii noilor particule.

„A alege între mai multe variante de noi dispozitive este ca și cum ai juca șah într-un ritm extrem de lent, în care CERN ar putea avea o mutare decisivă o dată la 10 ani”, spunea șeful laboratorului european, Carlo Rubbia, în anul 1990. „Menținerea unei poziții de conducător în domeniul științelor fundamentale este vitală pentru viața intelectuală și culturală a Europei și pentru încrederea în sine într-o epocă științifică.”

Deși nu era chiar de clasa SSC-ului, LHC-ul oferea cea mai bună perspectivă specialiștilor în fizica particulelor din întreaga lume, după dezastrul provocat de renunțarea americanilor. Din nou, speranța descoperirii bosonilor Higgs devenea o prioritate, pentru a putea justifica contribuabililor și guvernelor din Europa de

ce era necesar acest nou dispozitiv. CERN a realizat imagini care indicau cum ar fi trebuit să arate urmele bosonilor Higgs înregistrate cu detectoarele de particule ce înconjurau zonele de coliziune din LHC.

Detectoarele nu puteau înregistra direct bosonii Higgs, pentru că aceste particule nu au sarcină electrică. După o durată de viață extrem de scurtă ei ar trebui să producă particule mai ușoare și mai familiare, care se deplasează cu viteze mari. Din sutele de milioane de coliziuni care au loc în fiecare secundă, fiecare producând o ceață confuză de urme de particule, computerele cu procesare rapidă ar analiza în detaliu aproximativ zece evenimente pe secundă. Apariția simultană a două perechi de electroni grei, denumiți miuoni, cu sarcini pozitivă și respectiv negativă, ar putea reprezenta, în opinia celor de la CERN, o urmă a bosonilor Higgs.

Spre sfârșitul anilor 1980 au fost testate prototipuri de magneti pentru proiectul LHC. Echipele multinaționale de cercetători au analizat variantele de proiectare și construcție a detectoarelor gigantice. Inițial se spera ca noua mașină gigantică să devină funcțională înainte de anul 2000. Termenul s-a decalat la sfârșitul anului 1994, atunci când statele membre ale CERN au fost de acord să continue proiectul LHC, însă fără grabă.

Cu oarecare mândrie, un comunicat de presă al CERN care anunța această decizie a descris dispozitivul ca „primul instrument care ar permite o înțelegere deplină a originii masei”. Funcționarea dispozitivului LHC la întreaga sa capacitate a fost proiectată pentru anul 2008. Ulterior, contribuțiile financiare ale Statelor Unite, Japoniei și ale altor state care nu erau membre CERN au făcut posibil un nou termen de punere în funcțiune – și anume, până în anul 2007.

● Sau va fi descoperit în Illinois?

Amânarea a permis alocarea unei perioade de timp mai mari funcționării dispozitivului CERN existent, LEP. Chiar înainte ca LEP să își sisteze funcționarea la sfârșitul anului 2000, ipoteza că dispozitivul ar putea detecta bosoni Higgs în stare liberă a generat un entuziasm general. Cu toate acestea, conducerea CERN a luat decizia fermă de sistare a funcționării dispozitivului LEP, alocând tunelul construcției LHC-ului. Analizele ulterioare au indicat că rezultatele LEP-ului aveau o cu totul altă explicație decât prezența bosonilor Higgs. În timpul lungii pauze de la CERN, în așteptarea LHC-ului, cercetarea acestei particule s-a mutat înapoi peste Atlantic.

În câmpiile din Illinois, la vest de Chicago, laboratoarele guvernamentale Fermi își modernizau dispozitivul Tevatron. Acesta fusese pus în funcțiune pentru prima dată în anul 1987, ca accelerator de coliziune între protoni și antiprotoni, și era compus dintr-un inel magnetic având o circumferință de 6,7 kilometri. Tevatronul a devenit renumit pentru descoperirea a două particule materiale a căror existență fusese presupusă teoretic dar niciodată până atunci dovedită experimental, quarcul „top” (sus) și neutrulul „tau”. Procesul de modernizare a

început în anul 1996, iar până în anul 2001 dispozitivul era pregătit să caute bosoni Higgs.

„Laboratorul Fermi este singurul în domeniu”, a declarat John Womerlsey, un experimentator din echipa care lucra cu Tevatronul. După părerea lui, ar fi fost destul timp pentru descoperirea și confirmarea existenței bosonilor Higgs, înainte ca CERN să reapară în domeniu cu LHC-ul. Aceasta presupunea ca particula să se afle în domeniul puterilor electrice cu care opera Tevatronul, ceea ce părea plauzibil.

Folosind cele mai recente detectoare cu silicon pentru particulele cu sarcină electrică, fizicienii puteau căuta bosonii Higgs, particule cu timp de viață scurt și neutre, care formează doi quarci cu sarcină electrică, un „bottom” (bază) și un „antibottom” (antibază). Dispozitivul trebuia sincronizat, prin încercări repetate, la energia necesară producerii bosonilor Higgs. De asemenea, era necesară identificarea cazurilor repetate de apariții ale quarcilor bottom și antibottom cu exact aceeași energie cinetică.

● Mai multe particule Higgs?

A făcut CERN o mutare greșită în partida de șah de ordinul deceniilor descrisă de Rubbia, prin decizia de a utiliza LHC-ul prea târziu? Dacă descoperirea bosonilor Higgs, ca un imprimeu bottom/antibottom de aplicat pe un tricou, a constituit singurul scop al acestui echipament scump, atunci așa am putea considera. Însă nimeni nu s-a îndoit că LHC ar fi capabil să producă bosoni Higgs într-un număr mult mai mare decât Tevatronul, și să cerceteze în mai mare detaliu mecanismele producerii masei.

Chiar dacă descoperirea bosonilor lui Higgs ar trebui să asigure înțelegerea conceptului de masă a materiei obișnuite, detaliile au constituit o surpriză pentru teoreticieni și o provocare pentru experimentalisti. De ce, de exemplu, cel mai greu quarc este de 350 000 de ori mai masiv decât electronul? Cea mai viabilă explicație a fost că există mai multe tipuri de stări condensate, având o varietate de bosoni Higgs corespunzători și fiecare particulă materială interacționează în mod diferit cu aceștia.

Cercetătorii vor avea de descoperit ce reprezintă speciile fantomatice care populează peisajul Higgs și care este modalitatea prin care acestea se adună în jurul quarcilor. Deocamdată, în afară de a fi inutil în cazul în care Tevatronul va descoperi bosonii Higgs, LHC-ul de la Geneva va deschide un deceniu de studiu detaliat în ceea ce privește originea masei, cu cercetări fără precedent.

Într-adevăr, fizicienii susțin că LHC, care determină coliziunea protonilor cu antiprotonii, nu va fi suficient pentru această sarcină pretentioasă. Ei își doresc un succesor al lui LEP sub forma unui gigantic dispozitiv de coliziune a electronilor și pozitronilor, care să utilizeze accelerarea liniară a particulelor în locul celei circulare. Rezultatele unui astfel de dispozitiv vor fi mai ușor de interpretat

într-un mod deschis, fără idei preconcepute, și ne vor conduce către noi tărâmurii ale fizicii, dincolo chiar de bosonii Higgs.

Dar dacă nu se vor descoperi niciodată bosonii Higgs? La urma urmei, aceștia reprezintă doar o ipoteză. Acest rezultat ar fi la fel de dezastruos pentru teorie ca și eșecul lui Heinrich Hertz de la Karlsruhe, din anul 1885, care n-a reușit să pună în evidență undele radio prezise de teoria electromagnetismului a lui James Clerk Maxwell. Nici măcar Peter Higgs nu avea astfel de îndoieli. „Dacă voi mai trăi în momentul descoperirii unui boson Higgs”, a afirmat el, „mi-ar plăcea să fiu invitat la conferința de presă”.

- *Pentru mai multe informații despre forța nucleară slabă, vezi FORȚA ELECTROSLABĂ. Pentru abordări mai profunde în ceea ce privește fizica particulelor, vezi FAMILII DE PARTICULE ȘI SPARTICULE. Bose și condensarea Bose-Einstein reapar în SUPERATOMI, SUPRAFLUIDE ȘI SUPRACONDUCTOARE.*

CĂLĂTORII CU VITEZA LUMINII

O viziune practică asupra relativității speciale

TRABUCURILE IEFTINE pe care tânărul Albert Einstein le fuma, înconjurându-se într-un nor de fum, erau într-adevăr groaznice. Dacă ți-ar fi oferit unul, l-ai fi aruncat pe furiș în râul Aare din Berna. Când se întorcea acasă la soția și la fiul său, în micul apartament de pe strada Kramgasse, după ce-și făcuse datoria cu conștiinciozitate ca inginer (clasa a treia) la Biroul Elvețian de Patente, Einstein își petrecea serile reflectând asupra principiilor fundamentale ale fizicii și încercând să le pună cap la cap. Acesta era modul lui de a căuta faimă, avere și un trabuc mai bun.

În martie 1905, la câteva zile după ce a împlinit 26 de ani, Einstein a explicat efectul fotoelectric al particulelor de lumină într-o lucrare ce avea să-i aducă, în cele din urmă, Premiul Nobel. Până în mai, a dovedit existența atomilor și a moleculelor, explicând de ce minusculele granule de polen se mișcă în toate direcțiile, aparent haotic, în apă. Apoi a evidențiat efectele anterior nerecunoscute ale călătoriei cu viteze mari în lucrarea despre teoria specială a relativității, pe care a finalizat-o în iunie. În septembrie, el a atașat un post-scriptum spunând: „apropo, $E = mc^2$ ”.

Retrospectiv, Louis de Broglie din Paris a caracterizat rezultatele lui Einstein din acel an drept „rachete strălucitoare care iluminează scurt dar puternic, în întunericul nopții, o regiune imensă, necunoscută”. Toate cele patru lucrări au apărut într-o succesiune rapidă în *Annalen der Physik*, dar comunitatea fizicienilor a întârziat să reacționeze. Biroul de Patente l-a promovat pe Einstein în funcția de inginer (clasa a doua), iar el a continuat să lucreze acolo încă patru ani, până când a fost numit profesor asociat la Zürich. Abia atunci a avut timpul și spațiul necesare pentru a se gândi serios la spațiu-timp, la gravitație și la teoria generală a relativității, care avea să fie capodopera lui.

Ideea mult mai simplă a relativității speciale este încă un șoc neplăcut pentru studenți și pentru publicul profan, mult după *annus mirabilis* (anul miraculos) 1905. Profesorii continuau să predea prioritar fizica de dinaintea lui Einstein, fiind convinși că este mult mai simplă și mai aproape de realitate. Aceasta se petrecea în pofida numeroaselor insistențe din partea experților ca relativitatea să fie predată la gimnaziu.

● Jonglând cu timpul

În epoca rachetelor, a razelor laser, a ceasurilor atomice și a viselor de a zbura spre stele, ideile relativității speciale ar fi trebuit să pară mai realiste.

Universul lui Einstein este democratic, în sensul că punctul de vedere al unei persoane e la fel de bun ca al oricărei alta. În pofida faptului că stelele, planetele, oamenii și atomii sunt mereu în mișcare relativă, comportamentul materiei este neafectat de aceste mișcări. Legile fizicii rămân aceleași pentru toți observatorii.

Viteza luminii, 300 000 de kilometri pe secundă, apare în toate procesele fizice, chimice și biologice. De exemplu, forța electrică ce menține atomii corpului tău la un loc este transmisă de către particule de lumină invizibile. Detaliile erau necunoscute lui Einstein în 1905, dar el era perfect conștient că teoria electromagnetică a lui James Clerk Maxwell, apărută cu 40 de ani în urmă, era atât de strâns legată de lumină încât îi prezicea viteza. Această viteză trebuie să fie mereu aceeași atât pentru mine cât și pentru tine, altminteri corpul unuia dintre noi doi ar fi subred.

Să presupunem că tu pilotezi un avion de luptă și eu sunt infanterist. Lansezi o rachetă drept înainte, și viteza sa se adaugă vitezei avionului tău. Să spunem 1 000 plus 1 000 de kilometri pe oră, care fac 2 000. Aș fi pedant dacă n-aș fi de acord cu asta.

Acum să presupunem că lansezi o rază laser. Din perspectiva ta, va trece înaintea avionului tău cu 300 000 de kilometri pe secundă, altfel viteza luminii tale ar fi greșită. Dar, din punctul meu de vedere, ca observator aflat la sol, viteza avionului tău nu poate avea niciun efect suplimentar. Fie că raza vine de la tine sau de la un laser staționar, raza se va propaga tot cu 300 000 de kilometri pe secundă. Altfel, viteza luminii mele ar fi greșită.

Când tu știi că viteza razei laserului tău se adaugă vitezei avionului, și eu știu că nu este așa, cum putem avea amândoi dreptate? Răspunsul este simplu și totuși radical. Einstein a descoperit că timpul trece diferit pentru fiecare dintre noi. Când spui că raza laser se îndreaptă cu viteza luminii față de avionul tău, eu știu că tu măsoară viteza luminii cu un ceas care merge mai încet decât ceasul meu. Diferența compensează exact decalajul creat de viteza avionului.

Einstein a ales între două idei conflictuale care sunt ambele de bun simț. Una spune că materia se comportă la fel, indiferent de modul cum se mișcă, iar cealaltă, că timpul ar trebui să se scurgă în același ritm peste tot. După părerea lui, nu exista nicio controversă. El susținea în privința relativității speciale că e preferabil să joglezi mai degrabă cu timpul decât cu legile fizicii.

Matematica nu e dificilă. Doi bicicliști merg pe stradă, unul lângă altul, și unul îi aruncă o sticlă cu apă celuilalt. Din punctul de vedere al bicicliștilor, sticla străbate doar scurta distanță care-i separă. Dar un observator care se află pe

marginea drumului o va vedea urmând o traiectorie oblică. Aceasta se petrece deoarece bicicliștii înaintează pe o anumită distanță din momentul în care sticla pleacă de la cel care o aruncă și până în momentul în care celălalt o prinde. Observatorul crede că sticla merge mai departe și mai repede decât cred bicicliștii.

Dacă sticla reprezintă lumina, problema e mai serioasă, deoarece nu trebuie să existe vreo contradicție între aprecierea observatorului și a bicicliștilor asupra vitezei acesteia. Rezultă că un factor-cheie în calcularea a cât de încet trebuie să meargă ceasurile bicicliștilor pentru a compensa diferența este distanța traiectoriei oblice văzută de către observator. Iar aceasta se obține din teorema atribuită lui Pitagora din Samos. Actorul Danny Kaye a rezumat-o într-un cântec, în filmul din 1958, *Merry Andrew (Clovnul)*:

Bătrânul Einstein a spus-o, când nu obținea niciun rezultat,

Dați-i crezare, a fost auzit strigând,

Evrika!

Pătratul ipotenuzei unui triunghi dreptunghic

Este egal cu suma pătratelor celor două laturi adiacente.

Cunoscătorii versurilor matematice preferau distribuția filmului propus în cântecul „Lobachevsky” (1953) al lui Tom Lehrer (cunoscut compozitor satiric și matematician american) care s-ar fi numit *Eternul Triunghi*. Rolul ipotenuzei ar fi fost jucat de un sex-simbol – Ingrid Bergman, într-o primă versiune a cântecului și Brigitte Bardot într-o versiune ulterioară. Fie că faci calcule cu un accent american, suedez sau franțuzesc, când corectezi viteza ceasului într-un vehicul care se află în mișcare față de tine, trebuie să împarți la ipotenuza lui Pitagora.

Încetinirea timpului pentru un obiect aflat în mișcare are alte implicații. Una se referă la masă. Dacă încerci să mărești viteza, folosind impulsul unui motor de rachetă spațială sau forța electrică într-un accelerator cu particule, obiectul răspunde mult mai încet, din perspectiva unui observator.

Racheta sau particula răspund ca de obicei forței aplicate, mărindu-și viteza cu mai mulți metri pe secundă, în fiecare secundă. Dar secunde lor sunt mai lungi decât cele ale observatorului, astfel încât accelerația îi pare acestuia mai redusă. Obiectul care se mișcă repede pare să fi dobândit o masă inerțială mai mare.

Atunci când obiectul călătorește cu o viteză apropiată de viteza luminii, masa sa aparentă crește enorm. Nu poate accelera astfel încât să depășească viteza luminii, din perspectiva observatorului. Creșterea masei în timpul călătoriei la viteze mari pare a fi precum un tahometru pe un camion – un restrictor de viteză care menține sub control traficul din universul lui Einstein.

● O călătorie dus-întors pentru ceasuri atomice

Să ne imaginăm oamenii făcând o călătorie în spațiu cu viteză mare, plecând de pe Pământ și revenind. Deși mersul încetinit al ceasurilor lor va face ca timpul să

treacă mai încet pentru ei decât pentru observatorii de acasă, călătorii nu simt nimic neobișnuit în tot acest timp. Ceasurile lor de la mână și ritmul pulsului par normale. Și chiar dacă observatorii ar putea crede că turiștii spațiali s-au îngrășat considerabil, în nava spațială ei se simt la fel de ușori ca de obicei.

Dar ce se întâmplă la întoarcere? Timpul care a trecut mult mai încet pentru ei, calculat în sistemul de referință de pe Pământ, va face ca ei să fie mult mai tineri decât dacă ar fi rămas acasă? Einstein intuia că dilatarea timpului ar trebui să aibă un efect de durată. „Ne-am putea imagina”, scria el, „că organismul, după un zbor lung, s-ar putea întoarce la locul inițial într-o stare foarte puțin schimbată, în timp ce organismele asemănătoare, care au rămas în poziția lor inițială, au lăsat locul demult noilor generații”.

Alți teoreticieni, dintre care cel mai înverșunat era astrofizicianul britanic Herbert Dingle, au considerat că ideea nu avea sens. Paradoxul ceasului, cum l-au numit ei, încălca principiul democratic al relativității, conform căruia punctele de vedere ale tuturor erau la fel de valabile. Călătorii în spațiu ar putea considera că s-au odihnit, spuneau criticii, în timp ce se îndepărtau de Pământ. Ei ar putea crede că ceasurile de pe Pământ merg încet în comparație cu cele de pe nava spațială. La întoarcerea acasă ar avea loc o reconciliere automată și ceasurile ar indica din nou același timp.

Argumentul rațional nu a rezolvat problema astfel încât să-i mulțumească pe toți. Acest lucru nu este neobișnuit în fizică, așa cum s-ar crede. De exemplu, J.J. Thomson, cel care a descoperit electronul, a respins mulți ani ideea că acesta era într-adevăr o particulă materială, chiar dacă propriile lui calcule o dovedeau. Există adesea o zonă obscură în care nimeni nu este sigur dacă descrierea matematică a unui proces fizic se referă la entități și evenimente reale, sau este doar o ficțiune convenabilă care oferă răspunsuri corecte.

Timp de peste 60 de ani, fizicienii au avut păreri împărțite în ceea ce privește realitatea și durabilitatea dilatării timpului. Argumente perfect raționale susțineau ambele părți. Ei au folosit atât relativitatea specială cât și relativitatea mai complicată, generală, care introducea posibilitatea ca accelerația să compromită principiul democratic. Într-adevăr, unii observatori neutri bănuiau că existau prea multe moduri de a privi problema, pentru ca oricare dintre ei să ofere un argument definitiv. Problema nu s-a rezolvat până când ceasurile atomice nu au devenit destul de precise pentru un test experimental în avion.

„Nu am încredere în acei profesori care mângălesc ceva pe tablă, pretinzând că înțeleg totul”, a afirmat Richard Keating de la Observatorul Marinei Statelor Unite. „Am făcut prea multe măsurători în care nu apar numerele prezise de ei.” Dată fiind această reacție dură, merită să dăm câteva detalii despre un experiment pe care mulți oameni nu l-au luat în serios. Pe Internet poți găsi și azi sute de autori anonimi care încă mai pun sub semnul întrebării joaca lui Einstein cu timpul, ca și cum acea problemă nu ar fi fost rezolvată în 1971.

Aceasta s-a întâmplat când Keating și colegul lui, Joe Hafele, au transportat un set de patru ceasuri atomice cu cesiu de două ori în jurul lumii cu un avion de pasageri. Prima dată au zburat de la vest la est, apoi de la est la vest. Când s-au întors la laborator, ceasurile care călătoriseră erau desincronizate față de ceasurile similare care au rămas acolo. Intuiția lui Einstein s-a dovedit a fi corectă.

Două complicații au afectat rezultatele experimentului. Avionul ce se îndrepta înspre est se deplasa mai repede decât solul, așa cum era de așteptat, iar avionul din direcția vest mai încet. Aceasta deoarece mergea în direcția opusă rotației Pământului în jurul axei sale. La latitudini medii (între 20 și 50 de grade latitudine nordică sau sudică), viteza de rotație a Pământului este comparabilă cu viteza unui avion cu reacție. Deci ceasurile de bord din avionul care se îndrepta spre vest ar fi trebuit să meargă mai repede decât cele de la sol.

Cealaltă complicație era un efect einsteinian total diferit. Conform teoriei relativității generale, ceasurile de bord ar trebui să le-o ia înainte celor de la sol, deoarece forța gravitațională este mai scăzută la altitudini înalte. Deci ceasurile din avionul care se deplasa spre direcția vest aveau un motiv în plus pentru a o lua înainte. Din toate aceste efecte ele au acumulat un avans de 273 de miliardimi de secundă. Dacă vreun pasager sau echipajul din avionul care zbura spre vest ar fi făcut o călătorie completă în jurul lumii, ar fi îmbătrânit cu exact această durată față de rudele lor de pe Pământ.

În cealaltă direcție, încetinirea ceasurilor de la bord din cauza mișcării era suficientă pentru a nu ține cont de accelerarea datorată forței gravitaționale slabe. Ceasurile care mergeau spre est întârziău cu 59 de miliardimi de secundă, deci cei care au călătorit dus-întors odată cu ele ar fi cu atât mai tineri cu această durată decât rudele lor. Cifrele au confirmat predicțiile teoretice.

Detaliile arată că experimentul a fost realizat cu minuțiozitate, dar ideea esențială era de fapt mult mai simplă. Când ceasurile au ajuns acasă, nu trebuia să se recupereze nimic pentru a fi în concordanță cu cele care au rămas în laborator, după cum se așteptau oponenții. Ajustarea timpului în teoria relativității este un efect real și de durată. După cum au declarat Hafele și Keating, „aceste rezultate oferă o soluție clară, empirică, a faimosului paradox al ceasului”.

● Efectul Matusalem

Dacă vrei să călătorești în timp și vrei să-ți vezi descendenții tăi de peste un mileniu, cele câteva milionimi de secundă câștigate de avionul care zboară spre est nu-ți vor fi de niciun ajutor. Chiar și dacă astronauții ating în cele din urmă 10% din viteza luminii, ceasurile lor vor rămâne în urmă cu doar o zi la 200 de zile, comparativ cu ceasurile de pe Pământ. Se spune că Matusalem a supraviețuit timp de 969 de ani. Pentru ca un calendar terestru să măsoare această perioadă, în timp ce tu trăiești șaptezeci de ani pe o navă spațială, Doamna Ipotenuză spune că tu va trebui să te deplasezi cu o viteză egală cu 99,74% din viteza luminii.

Dilatarea timpului la un asemenea nivel a fost verificată într-un experiment din 1977. Miunul este un electron greu care se dezintegrează spontan după 2 milioane de secundă, producând un electron obișnuit. Într-un inel de depozitare a miunilor, aflat la CERN în Geneva, Emilio Picasso și colegii săi au rotit particulele cu o viteză de 99,94% din viteza luminii și au înregistrat dispariția lor cu detectoarele de electroni. Astfel, ei au concluzionat că deplasarea cu viteză apropiată de viteza luminii a prelungit viața miunilor de aproape 30 de ori.

Efectul Matusalem asupra miunilor are consecințe fizice pe Pământ. Radiația cosmică provenită de la stele creează o ploaie continuă de miuni care se deplasează foarte repede, la altitudini mari în atmosfera Pământului. Aceștia sunt mult mai capabili decât electronii să penetreze atmosfera, dar ar dispărea înainte să coboare cu câțiva metri dacă viețile lor nu ar fi prelungite datorită vitezelor mari. În practică, miunii pot atinge suprafața Pământului și chiar pot trece prin roci. Lui Einstein i se poate atribui meritul sau vina pentru rolul important pe care miunii îl joacă în radiația cosmică ce contribuie la mutațiile genetice care apar la creaturile vii și afectează vremea la altitudini joase.

Dacă vrei să exploatezi relativitatea specială pentru a te menține în viață cât mai mult timp, cel mai confortabil mod de a călători prin Univers ar fi să accelerezi constant cu g – accelerația gravitațională cu care sunt atrase obiectele la suprafața Pământului. Atunci nu vei mai avea nicio problemă cu imponderabilitatea, și poți, teoretic, realiza călătorii uimitoare pe parcursul vieții. Aceasta deoarece accelerația constantă te va duce la un pas de viteza luminii.

Ceasul tău biologic aproape se va opri, comparativ cu trecerea timpului pe Pământ și pe stelele din jurul tău. Vei vedea pe fereastră stele care se precipită către tine și nu doar din cauza efectului direct al mișcării tale către ele. Distanța aparentă pe care trebuie să o parcurgi continuă să se micșoreze, ca un alt efect al relativității la viteze mari.

Într-o navă spațială care se deplasează cu accelerația g poți, de exemplu, pleca la 20 de ani și să călătorești în afara galaxiei noastre către galaxia Andromeda, care se află la două milioane de ani-lumină. Dacă frânezi la timp (tot cu g – accelerația gravitațională), poți ateriza pe o planetă din acea galaxie și să sărbătorești acolo împlinirea vârstei de 50 de ani. Mai aruncă o privire în jur înainte de a pleca spre casă și poți fi înapoi la aniversarea de 80 de ani. Dar cine știe în ce stadiu vei găsi Pământul, peste milioane de ani de acum încolo?

Dacă nu dorești nici să te oprești, nici să te întorci acasă, poți traversa întregul univers cunoscut în timpul vieții, în nava ta spațială g . Nu contează că din punct de vedere tehnologic acest lucru este o utopie. Simplul fapt că teoria unchiului Albert spune că este permis de către legile fizicii ar trebui să facă Universul puțin mai confortabil pentru noi toți.

● „Un pariu sigur”

Astronomii au verificat intuiția lui Einstein conform căreia viteza luminii nu este afectată de viteza sursei. De exemplu, variațiile lungimii de undă a luminii le indică adesea că o stea se rotește în jurul alteia. Uneori oscilează către noi, alteori se îndepărtează de noi de cealaltă parte a stelei în jurul căreia se rotește. Pentru o stea care pulsează, timpul între pulsații variază și el.

Să presupunem că Einstein s-a înșelat și că viteza luminii este mai mare când steaua se apropie și mai mică atunci când se depărtează. Atunci timpii de sosire a impulsurilor de la steaua care îi emite și care orbitează în jurul altei stele vor varia într-un mod neregulat. Aceasta însă nu se întâmplă.

Razele X sunt o formă de lumină, iar în 1977 Kenneth Brecher de la Institutul de Tehnologie din Massachusetts a aplicat acest raționament pentru o stea emițătoare de raze X dintr-o galaxie apropiată, Micul Nor Magelanic. Acolo, sursa de raze X, SMC X-1, se rotește cu 300 de kilometri pe secundă în jurul perechii ei, și totuși nu există niciun aspect mai deosebit cu privire la sosirea razelor X. Deci afirmația privind invarianța vitezei luminii de la o sursă în mișcare este corectă cu o precizie de cel puțin unu la un miliard.

În 2000, Brecher era la Universitatea din Boston și folosea observațiile asupra exploziilor razelor gama pe cer pentru a aduce noi argumente în sprijinul afirmației. Cu cât distanța unei surse astronomice era mai mare, fluxurile de lumină, călătorind cu viteze diferite, au nevoie de mai mult timp pentru a se separa înainte să ajungă la telescoapele noastre. Exploziile razelor gama au loc la miliarde de ani-lumină depărtare.

În toate teoriile plauzibile despre ce ar putea aceste obiecte să fie, bucăți din ele se deplasează relativ una față de cealaltă, cu 30 000 de kilometri pe secundă sau mai mult. Totuși, unii au observat că exploziile razelor gama durează doar o miime dintr-o secundă. Dacă ar fi existat cel mai neînsemnat efect al deplasării surselor asupra vitezei luminii, o explozie nu ar fi putut dura atât de puțin după miliarde de ani de călătorie în spațiu.

Cu acest raționament, Brecher a redus orice eroare posibilă a propoziției lui Einstein la mai puțin de unu la 100 de miliarde de miliarde. El a declarat că „invarianța vitezei luminii este cel mai sigur pariu din toată istoria științei”.

- *Despre $E = mc^2$, ca post-scriptum al relativității speciale, vezi **ENERGIA ȘI MASA**. Referitor la relativitatea generală, vezi **GRAVITAȚIA**. Referitor la alte trucuri cu ceasuri, vezi **MAȘINILE TIMPULUI**.*



CEASURILE BIOLOGICE

Mecanisme moleculare ce guvernează viața de zi cu zi

IN ORAȘUL MEXICO a avut loc, în anul 1951, un experiment care a transformat viața femeilor. Laboratorul Syntex local prezentase cu puțin timp în urmă în revista *Life* acest experiment sub titlul „Cortizonul din rădăcina de ignamă uriașă (*Dioscorea villosa*)”. În acea perioadă, corticosteroizii folosiți în tratamentul artritelor erau la modă. Chimistii de la Syntex au pornit de la o substanță naturală extrasă din ignama sălbatică, diosgenina, dând o lovitură celor de la Harvard și celorlalți competitori de pe piață cu modalitatea lor relativ ieftină de a produce cortizon.

Unul dintre membrii echipei multinaționale era Carl Djerrasi, un evreu bulgar în vârstă de 27 de ani, care se refugiasse de Hitler și făcuse studii în Statele Unite. Carl Djerrasi a continuat cu sintetizarea unui nou steroid, noretindronul. Acesta era o variantă a hormonului progesteron care putea fi administrat pe cale orală în loc să fie injectabil. El a declarat mai târziu: „Nici în cele mai frumoase vise nu ne-am imaginat că această substanță va deveni componentul activ progesteronic din aproape jumătate dintre contraceptivele orale utilizate în toată lumea”.

În același an, 1951, Margaret Sanger, inițiatoarea metodelor contraceptive, l-a provocat pe Gregory Pincus de la Fundația Worcester pentru biologie experimentală din Massachusetts să realizeze o pastilă contraceptivă pentru femei. Pincus a optat pentru o variantă orală ulterioară de progesteron, noretinodrel, pe care a inclus-o în compoziția pilulei sale, pusă în vânzare în anul 1960. Aceasta a fost urmată la scurt timp de o altă pastilă, pe baza noretindronului sintetizat de Djerrasi. Acestea și produsele de mai târziu au provocat o revoluție în planificarea familială, scandaluri la Vatican, umor licențios în perioada emancipării sexuale a anilor 1960 și au însemnat totodată un sprijin în emanciparea femeii.

Pilula interferează cu ceasul biologic care reglează ritmul ciclului menstrual. Prin modificarea nivelurilor diferiților hormoni, prin transmiterea mesajelor lor chimice în tot organismul, se realizează un ritm lunar alcătuit din procese lente de creștere și descreștere, fiecare desfășurându-se timp de două săptămâni. Prima fază este cea de creștere a numărului de foliculi ovarieni purtători de ovule, unul dintre aceștia eliberând, în cele din urmă, un ovul.

Foliculul gol se transformă în corpul galben (*corpus luteum*), eliberând progesteron, care determină uterul să-și pregătească mucoasa pentru o posibilă sarcină.

După aproximativ 14 zile, corpus luteum se atrofiază și dispare. Lipsită de progesteron, mucoasa uterină se dezintegrează și apare sângerarea. Simultan, procesul de dezvoltare a ovulelor începe și ciclul se reia.

Uneori, un ovul fecundat se implantează în uter în timpul celei de-a doua faze. În acest caz, el trimite un semnal hormonal către corpus luteum pentru a continua să producă progesteron. Acest fapt împiedică implantarea oricărui alt ovul fecundat. Așadar, pilula cu progesteron simulează o sarcină incipientă. Dacă apare un ovul fecundat, uterul îl respinge.

Dintre toate semnalele chimice implicate în ciclul menstrual, un rol important îi revine hormonului de eliberare a gonadotropinei (GnRH). Producerea lui este controlată de o zonă aflată la baza encefalului numită hipotalamus, care integrează informații hormonale și de altă natură din organism. O pulsație de GnRH reprezintă ticăitul lunar al ceasului menstrual și stimulează producerea altor hormoni.

Producerea acelor hormoni împiedică producția GnRH-ului. Când nivelul lor scade la sfârșitul ciclului, se produce o nouă pulsație de GnRH. Reducând un sistem foarte complex la un principiu simplu, putem spune că molecula A produce molecula B, care determină încetarea activității moleculei A. Molecula B dispare și molecula A își începe activitatea din nou. În concluzie, ceasul biologic funcționează asemenea unui pendul.

● Cum să-ți potrivești ceasul interior

Apropierea perioadei menstruale, ca durată, de o lună calendaristică este probabil doar o coincidență. Pe de altă parte, multe creaturi care trăiesc pe malul mării și-au adaptat ceasul biologic în funcție de Lună și de ciclul marilor ei de 12,4 ore. Unele dintre ele par a calcula fazele lunare la fel de meticulos ca preoții care stabilesc data Paștelui. Crabii-potcoavă din Golful Chesapeake preferă perioada de lună plină din luna mai, pentru a-și depune ouăle pe plaja delimitată de maree.

Când oamenii de știință menționează ceasul biologic, ei se referă cel mai adesea la ritmul corpului de 24 de ore, alcătuit din starea de somn, starea de veghe și starea de foame. Acestea sunt legăturile fundamentale dintre viață și astronomie. Pe măsură ce rotația Pământului în jurul propriei axe face să apară și să dispară Soarele, orice ființă de pe suprafața planetei noastre reacționează în moduri specifice la jocul de-a v-ați ascunselea solar.

Privind retrospectiv, este totuși ciudat cât de greu și-a dat seama majoritatea oamenilor de știință că multe organisme au ceasuri interne care le semnalează în ce moment al zilei se află. Apariția avioanelor cu reacție pentru pasageri în anii 1960 le-a permis biologilor să experimenteze pe propria piele desincronizări severe ale ritmului circadian. Așadar, anatomia, biochimia și genetica s-au concentrat treptat asupra ceasului biologic de 24 de ore al oamenilor și al altor specii. Ceasul dumneavoastră biologic de 24 de ore, cu aproximativ 10 000 de celule și mai mic decât un vârf de ac, este nucleul suprachiasmatic din hipotalamus (situ-

at la baza creierului). El a primit numele de la chiasmă, situată sub el, zona unde nervii optici principali se intersectează în drum spre partea posterioară a creierului, pentru a genera vederea obișnuită. Ceasul interior are legături specifice cu senzorii de lumină din ochi, care îi transmit informații despre nivelul variabil al luminozității, distingând astfel noaptea de zi. Acestea ajută la reglarea zilnică a ceasului. Ceasul influențează activitatea organismului prin semnale trimise glandelor care produc hormoni (glandele endocrine).

Epifiza (sau glanda pineală), o glandă de mărimea unui bob de mazăre, pe care René Descartes o considera drept sediul sufletului uman, secretă cantități de melatonină într-un ritm variabil și care atinge nivelul maxim în timpul nopții. Alte glande reglează nivelurile altor hormoni. Printre activitățile afectate se află și cea a sistemului imunitar, care este în alertă în fiecare seară.

Chiar și fără utilele informații transmise de senzorii vizuali, ceasul își continuă activitatea într-un ciclu de 24 de ore cunoscut sub denumirea de ritm circadian. Voluntarii care trăiesc într-un mediu în care intensitatea luminii nu variază au un ritm circadian mai rapid. Lor le e somn, se trezesc și resimt foamea prematur, iar temperatura corpului lor variază într-un ritm mai alert.

Ceasul biologic dereglat câștigă o oră în fiecare zi față de evenimentele lumii exterioare. Acest fapt este un semn că oamenii au evoluat ca ființe diurne. Trezirea mai târziu era mai riscantă decât trezirea mai devreme. La mamiferele active pe timpul nopții, ceasul funcționează mai încet când intensitatea luminii nu variază, tocmai pentru a evita să fie văzute în lumina amurgului.

Dacă doriți să vă reglați ceasul biologic după munca în schimburi de noapte sau după o călătorie pe parcursul căreia ați schimbat fusul orar, tratați-vă receptorii vizuali prin expunerea la lumina puternică a soarelui. În anii 2001–2002, cercetătorii din cinci laboratoare din Statele Unite și Danemarca au identificat aproape simultan receptorii vizuali din ochii mamiferelor. Aceștia sunt celule specializate, dispersate pe retină, care fac măsurători ale intensității luminii pe o arie largă în jurul lor, cu ajutorul prelungirilor lor numite dendrite. Receptorii de lumină stabilesc apoi o medie a intensității pentru un sfert de oră sau mai mult. Prin urmare, fulgerele nu induc în eroare ceasul biologic.

Celule specializate asemănătoare sunt conectate la sistemul care controlează dilatarea și contractarea pupilelor pentru a proteja retina împotriva luminii prea puternice sau pentru a dilata pupilele în timpul nopții. Și emoțiile intervin în acest mecanism. Spre exemplu, un jucător de cărți versat știe că pupilele adversarului se dilată la vederea unui as și se micșorează dacă acesta trage o carte slabă.

● Controlul genelor

La începutul secolului al 21-lea, mecanismul ceasornicului molecular devenea din ce în ce mai clar. Geneticienii au avut sarcina grea și meticuloasă de „a demonta” piesă cu piesă ceasul biologic. În anii 1970, Seymour Benzer de la Caltech a fost

deschizător de drumuri prin cercetările asupra musculițelor de oțet (*Drosophila*) mutante cu ceasuri dereglate și comportament diurn anormal. În anul 1988 s-a descoperit întâmplător un hamster auriu al cărui ceas biologic avea doar 22 de ore.

Un alt pas înainte a fost făcut de Joseph Takahashi de la Universitatea de Nord-Vest din Illinois și de colegii săi care au detectat, în cazul unui șoarece mutant, un ceas biologic cu o oră în plus. În anul 1994, echipa lui Takahashi a anunțat descoperirea unei gene mutante la unul dintre cromozomii șoarecelui. Această descoperire a fost urmată de o muncă susținută în mai multe laboratoare, care a dus la identificarea mai multor gene implicate în ceasul biologic al mamiferelor.

Grupul lui Takahashi a dezvăluit detalii clare despre gena mutantă a hamsterului auriu și a descoperit aceeași genă la șoareci și la oameni. Aceasta codifica o moleculă proteică specifică, o enzimă de tip kinază. Apoi o altă echipă, din Utah, a identificat un defect la aceeași enzimă, în cazul pacienților cu tulburări ereditare ale somnului. Takahashi a fost surprins să descopere că această enzimă este implicată, de asemenea, și în funcționarea ceasului biologic al *Drosophilei*. El a declarat: „Este incredibil că această enzimă funcționează la fel în cazul *Drosophilei* ca și la hamsteri. Așadar, este vorba de un sistem foarte bine conservat”.

Steven Reppert de la Spitalul General din Massachusetts și colegii săi au formulat un rezumat preliminar al funcționării ceasului biologic. Ei au identificat proteine care pot susține sau pot inhiba activitatea anumitor gene implicate în funcționarea ceasului biologic. În anul 2000, echipa lor a indicat cu precizie o astfel de proteină, numită criptocrom. Aceasta este modificată cu ajutorul unei alte proteine implicate în funcționarea ceasului biologic și se întoarce în nucleul celulei, unde se găsesc genele. Acolo întrerupe activitatea genei care produce însuși criptocromul.

Avem de-a face cu același mecanism de pendul, molecula A produce molecula B care inhibă molecula A, într-o buclă de feedback negativ. Reppert comenta, în 2002: „Acum că am descoperit aceste bucle, ne întrebăm cum sunt introduse întârzierile de timp în sistem prin modificarea proteinelor, pentru ca ciclul de 24 de ore să fie exact”.

De asemenea, și la plante controlul activității genelor este legat de ceasul lor biologic de 24 de ore. În comparație cu mecanismul de potrivire al ceasului mamiferelor, care se bazează pe receptori de lumină situați la distanță, la plante același mecanism este uluitor de direct. Moleculele proteice cu pigmenți, numite fitocromi, înregistrează lumina din fiecare celulă expusă. Ele merg apoi la nucleul celulei, unde se găsesc genele, și controlează activitatea acestora.

Ferenc Nagy de la Centrul de Cercetări Biologice din Szeged, Ungaria, a făcut descoperirea. „Faptul că moleculele sensibile la lumină pot invada nucleul celulei în acest fel este un concept complet nou în biologia celulară”, a spus el. „Este ca și cum un reporter ar da buzna în biroul primului-ministru, ar apuca telefonul și ar începe să dea ordine”.

● Navigatorii înaripați

În pofida progreselor remarcabile, cercetările asupra ceasului biologic sunt încă la început. Acest lucru iese cel mai bine în evidență în cazul păsărilor migratoare. Institutul de Ornitologie Max Planck se află în zona rurală a Bavariei, o regiune cu multe păsări cântătoare, majoritatea iernând în Africa. În cadrul acestui institut, Eberhard Gwinner a condus timp de decenii cercetările asupra ceasului biologic al păsărilor și a rolului acestuia în fenomenul de migrație. Chiar dacă el și colaboratorii săi au făcut descoperiri majore, studiile lor au scos la iveală și mai multe mistere.

Păsările migratoare fac față unor sarcini care ar da fiori oricărui navigator. În afară de funcțiile normale de somn-veghe-hrănire, ceasul zilnic trebuie să le ofere posibilitatea de a-și regla ora ziua și noaptea, când se dirijează după Soare sau după stele. Când zboară spre est sau spre vest trecând peste fusuri orare, o pasăre trebuie să-și adapteze ceasul mai lin și mai rapid decât o fac oamenii. Tulburările determinate de schimbarea fusului orar pot fi fatale pentru o pasăre mică asaltată de prădători.

Așa cum plantele trebuie să știe când să înflorească sau când să-și scuture frunzele, tot astfel o pasăre trebuie să știe când să pornească în călătoria sa. Ea înmagazinează energie din timp, proporțional cu distanța pe care o are de parcurs. Radarele au urmărit păsări mici zburând fără întrerupere din Europa până în Africa, în regiunea subsahariană, parcurgând 2 500 de kilometri pe deasupra mării și a deșertului în 48 de ore. Pentru a fi pregătită pentru o astfel de călătorie, o pasăre poate să-și dubleze greutatea.

La latitudini medii și mari, plantele și animalele pot identifica ușor perioada anului datorită lungimii zilei și temperaturii. Dar să ne imaginăm o pasăre migratoare care prinde sfârșitul verii în Europa și zboară spre Africa tropicală. Acolo zilele au aceeași lungime în toate anotimpurile. Nici temperatura nu este un ghid prea bun în stabilirea perioadei anului. Deci, de unde știu păsările când să se întoarcă?

Spre sfârșitul anilor 1960, Gwinner și Peter Berthold au început o serie de experimente în care au ținut captive în colivii păsări migratoare mici, alternând continuu 12 ore de lumină artificială cu 12 ore de întuneric. Timp de câțiva ani, păsările au continuat să se pregătească pentru zbor de două ori pe an, în anotimpul corect. Greutatea corpurilor lor creștea și deveneau neliniștite ca înainte de migrație, făcând exerciții de zbor noaptea.

Păsările posedă nu numai un ceas biologic zilnic ci și unul anual, un calendar. În acest caz, adaptarea astronomică se face în funcție de înclinarea axei Pământului care dirijează anotimpurile. Faptul că ceasul anual al unei păsări captive în colivie nu are niciodată exact 365 de zile este dovada că el este autogenerat interior.

Păsările nemigratoare au, de asemenea, calendare biologice. Echipa lui Gwinner a investigat modul în care mărăcinarul negru (*Saxicola torquata*), o pasăre care își face cuib în diferite regiuni din Africa și Eurasia, își potrivește și își utilizează ceasul anual. Pentru a se adapta condițiilor locale, comportamentul lui în fiecare

anotimp variază de la un loc la altul. În anumite privințe, păsările pur și simplu reacționează oportunist la mediul înconjurător. Dar experimentele de încrucișare a păsărilor din locuri diferite au arătat că anumite variații în comportamentul de reproducere și de năpârlire sunt moștenite în cadrul populațiilor locale.

Când ornitologii au căutat să localizeze mecanismul ceasului în creierul păsărilor, au descoperit că, la fel ca la oameni, nucleul suprachiasmatic și epifiza sunt elemente centrale în funcționarea acestuia. Cele două elemente operează semiindependent, dar interacționează puternic. În anul 2001 echipa din Bavaria a făcut prima demonstrație a ritmului zilnic al activității genetice din celulele creierului păsărilor.

Rămâne un mister modul în care operează ceasul de 365 de zile. Probabil că o parte a corpului se dezvoltă încet și moare încet, sub controlul hormonilor, ca și foliculii ovarieni din ciclul menstrual de 28 de zile. Însă există întrebări mai profunde și mai complicate în privința utilizărilor ceasului biologic în navigație.

Păsările migratoare trec prin schimbări majore de climat și habitat doar prin deplasarea dintr-un loc în altul. Ele trebuie să se adapteze acestei lumi în permanentă schimbare. Adăposturile din anii trecuți pot fi distruse de foc, de vânt sau de oameni, de erupția vulcanilor și de râurile care își schimbă cursul. Inundațiile sau seceta pot distruge locurile de iernat. Niciunei alte creaturi de pe pământ nu i se cere o asemenea adaptabilitate, ca păsărilor.

Migrația păsărilor ar fi formidabilă chiar dacă aptitudinile de a alege anumite trasee ar fi dobândite de-a lungul mileniilor și nu schimbate în fiecare an. Ar fi impresionantă chiar dacă păsările tinere ar deprinde, de la adulți, aptitudinile geografice, de navigare și cronometrice în prima lor călătorie. Este șocant pentru ideile convenționale despre ereditate și evoluție faptul că ele trebuie să învețe foarte puțin. Majoritatea speciilor de păsări cântătoare care migrează la distanțe mari zboară singure, și pe timp de noapte.

S-ar putea afirma cu tărie că puii se nasc având în minte imaginea ultimului itinerariu al părinților. Adică ei știu când să zboare, în ce direcție și cât de departe. În locuri îndepărtate, nemaivizitate, ei evită vântul din față și se folosesc de vântul din spate. Păsările tinere își aleg singure escalele, iar primăvara ele se întorc cu precizie acolo unde au ieșit din ou.

„Orice persoană conștientă de miracolele păsărilor migratoare și de ceasurile lor circadian și anual se confruntă cu problemele fundamentale din genetică și din cercetarea creierului”, a afirmat Gwinner. „Învățarea, ereditatea și adaptarea la medii diferite – toate conlucrează pe căi rapide, anterior considerate imposibile. Când vom afla cum reușesc moleculele toate acestea, îndrăznesc să spun că micuțele păsări cântătoare vor revoluționa întreaga biologie.”

● Răspata se lasă așteptată

Viitoare aplicații ale cercetărilor asupra ceasurilor biologice vor cuprinde diferite domenii, începând de la tratarea insomniei și până la creșterea plantelor iarna. În

biologia fundamentală implicațiile sunt și mai vaste. Bacteriile, ciupercile, plantele și animalele au ceasuri biologice specifice. În cadrul acestor regnuri, speciile folosesc componente ale mecanismului ceasului în multe moduri diferite, care să se potrivească stilului de viață și resurselor proprii din mediul înconjurător. Adaptarea la ciclul mareelor de 12,4 ore, menționată anterior, este un exemplu elocvent.

Descoperirea în gene a modului în care au apărut aceste variații va reprezenta o parte captivantă a noului stil al istoriei naturale, care include mai nou și biologia moleculară. Există și convergențe cu studiul dezvoltării embrionilor. Timpul este esențial în aranjarea corectă a țesuturilor în organismul în creștere.

Cele mai mari recompense ar putea veni însă din cercetarea creierului. Ceasul de 24 de ore este doar un exemplu al modului în care creierul controlează comportamentul uman. Dacă oamenii de știință ar putea explica modul în care funcționează acest sistem biochimic și biofizic, la fel de minuțios cum explică un mecanic funcționarea unei mașini, atunci această funcție a creierului ar fi prima pe deplin înțeleasă. Aceasta ar încuraja eforturile cercetătorilor de a înțelege și celelalte funcții ale creierului în același mod, oferindu-le acestora totodată sugestii practice.

- *Referitor la ceasuri biologice mult mai rapide, vezi capitolul RITMURILE CEREBRALE. Pentru detalii despre ceasul biologic al plantelor, vezi capitolul ÎNFLORIREA. Referitor la rolul cronometrării în dezvoltarea embrionului, vezi capitolul EMBRIONII.*

CELULELE STEM

Ingineria țesuturilor, naturală
și medicală

- L ÎNGĂ RÂUL KAMO, unul dintre cele mai mari râuri care străbat orașul venind din munții învecinați, se află Spitalul universitar Kyoto. Acesta se poate mândri cu o mare realizare: transformarea biologiei fundamentale într-o știință medicală modernă.

Diferența dintre cercetarea teoretică și cea aplicată este nesemnificativă în studiul celulelor stem. Acestea sunt celule vii prelevate din masa internă a unui embrion foarte tânăr. În principiu, acestea se pot dezvolta devenind celule specializate de orice tip necesare organismului animalului. În laboratorul de genetică moleculară de la Kyoto, în anul 2000, Shin-Ichi Nishikawa a făcut un mic act de magie cu ajutorul unor celule stem provenite de la un embrion de șoarece.

Echipa lui Nishikawa a dezvoltat o cultură de celule stem într-un vas ce conținea collagen, o proteină ce se găsește în piele și în alte zone ale organismului unde sunt necesare fibre rezistente. După câteva zile, unele celule descendente din cele originale au alcătuit mușchi netezi întâlniți în vasele de sânge, în timp ce altele au creat mucoasa acestora. Cele două componente s-au îmbinat apoi în mod corect formând mici tuburi. În mod evident, celulele stem au răspuns unui stimul din partea collagenului, care le spunea: „Vrem vase de sânge”.

La Kyoto, demonstrația autoorganizării celulelor în țesut perfect format a fost însoțită de descoperirea faptului că ambele tipuri de celule ale vaselor de sânge provin de la aceiași precursori, pe parcursul transformării celulelor stem în celule specializate. Doi stimuli moleculari diferiți, numiți factori de creștere, au influențat celulele precursore să se dezvolte fie în celule ale țesutului muscular, fie în celule ale mucoasei. În scurt timp, alte echipe de cercetare din întreaga lume anunțau alte produse asemănătoare țesuturilor provenite din celulele stem ale embrionului de șoarece, inclusiv celule care produc insulină și țesut muscular cardiac.

Ingineria genetică cu celule stem embrionare pare să fie un obiectiv realizabil. Determinând modalitățile exacte care dau naștere diferitelor tipuri de celule și factorii de creștere care le influențează dezvoltarea, oamenii de știință speră să poată folosi exact celulele potrivite pentru a trata un pacient care are nevoie de țesut nou – de exemplu, vase de sânge noi, ca în experimentul inovator al lui Nishikawa. Însă scepticii, conștienți de ritmul lent al progresului cercetărilor din ultima jumătate de secol, avertizează că aplicațiile medicale importante ar putea apărea abia peste câteva decenii.

● Dinți nelalocul lor

Așa cum se petrece adeseori în știință, povestea celulelor stem embrionare a început dintr-o pură întâmplare. În anul 1953, Leroy Stevens, un proaspăt angajat al laboratorului Jackson din Maine, a primit sarcina de a investiga efectele foiei de țigară asupra sănătății, distincte de cele ale tutunului. În acest scop el a folosit cobai, iar într-o zi a observat că unul dintre ei avea scrotul mărit. Această modificare nu avea nicio legătură cu experimentele legate de fumat.

Scrotul animalului conținea un teratom, o formă monstruoasă de cancer formată din țesuturi eterogene – în acest caz, dinți și păr care creșteau în testicule. La o specie de cobai predispuși la această afecțiune, Stevens a descoperit multe alte țesuturi neobișnuite, pe lângă dinți și păr. „Lucrul acesta era deosebit de interesant”, a declarat el mai târziu, „și, cu siguranță, era mult mai captivant decât studierea foieților de țigară!”

După mulți ani de cercetări minuțioase, Stevens a descoperit că poate induce acest tip de tumoare prin injectarea celulelor provenite din masa internă a embrionilor tineri direct în testiculele unui cobai adult. El a dat acestor celule denumirea lor actuală: celule stem embrionare pluripotente. Asta se întâmpla în anul 1970, iar 11 ani mai târziu echipe concurente de la Cambridge și UC San Fran-

cisco au reușit să cultive celule stem de cobai și să demonstreze că acestea au capacitatea de a se dezvolta în diferite tipuri de celule.

A urmat o altă pauză foarte lungă până când cercetătorii de la Wisconsin și de la Technion, Haifa, au realizat primele culturi similare de celule stem embrionare umane, în anul 1998. Anunțând rezultatele lor, James Thomson și colaboratorii săi au remarcat: „Aceste linii celulare ar putea fi folositoare în biologia dezvoltării umane, în descoperirea de noi medicamente și în medicina transplanturilor”.

Această descoperire a făcut mare vâlvă. Pe de o parte, oamenii de știință și jurnaliștii emiteau ipoteze referitor la vindecări miraculoase ce ar putea fi realizate cu ajutorul ingineriei țesuturilor. De ce să nu folosim celule stem embrionare pentru a crea țesuturi și organe noi, pentru a repara o inimă sau un rinichi bolnav, pentru a înlocui glandele pancreatice deficiente ale diabeticilor, pentru a regenera creierul bolnavilor de Parkinson sau Alzheimer, sau pentru a reface măduva spinării deteriorată? Fostul Superman de la Hollywood, actorul Christopher Reeve, care a rămas paralizat în urma unui accident, a devenit un important susținător al cercetării celulelor stem.

Dar între teorie și aplicarea ei practică era o mare lacună tehnologică. Ce ar putea împiedica celulele stem embrionare injectate unui pacient să evolueze haotic și să producă o tumoră, așa cum s-a întâmplat în cazul experimentelor inițiale ale lui Stevens? Și chiar dacă acestea ar putea fi înlănțuite, de exemplu prin doze ale factorilor de creștere potriviți, celulele stem prelevate de la un embrion anonim pot fi respinse de sistemul imunitar al pacientului, ca orice alt transplant.

Ce diabetic ar renunța la insulină în schimbul administrării permanente de medicamente imunodepresive, pentru a evita respingerea glandelor pancreatice crescute din celulele stem ale altei ființe umane? De aici a pornit ideea creării și sacrificării unei clone embrionare a unui pacient pentru a obține celule stem potrivite pentru tratamentul său. Dacă ar putea fi pusă în practică, aceasta ar fi din punct de vedere tehnic cea mai sigură cale de a rezolva problemele respingerii țesuturilor.

Dar alt aspect al agitației create în jurul acestei descoperiri era problema de natură etică și politică referitoare la folosirea celulelor de la embrioni umani decedați în scopuri științifice și la posibila lor administrare ca medicamente. Aceasta împreună cu aluziile la clonarea umană au generat o critică și mai puternică a ideii de întrebuințare a celulelor stem embrionare. Guvernul american a interzis recoltarea unor astfel de celule, dar a permis întrebuințarea în continuare a culturilor deja existente în scopul cercetării.

Pentru mulți specialiști, atât promisiunile medicale cât și dezbaterile politice păreau premature. „În prezent, știm atât de puțin încât nu am face altceva decât să luăm o decizie în totalitate emoțională referitoare la aplicații viitoare”, a comentat Davor Solter de la Institutul de Imunobiologie Max Planck din Germania. „Fiecare țară și, în ultimă instanță, fiecare om va trebui să hotărască ce părere are despre aspectele de ordin moral ale întrebuințării acestor tehnologii,

însă cererile imperioase de a le interzice înainte de a fi înțelese pe deplin sunt obtuze și posibil dăunătoare. Dacă ni se cere să renunțăm la ceva, logic ar fi să știm exact la ce anume renunțăm.”

Pentru a facilita avansarea în ritm accelerat a cercetărilor, în anul 2003 a fost înființată prima bancă europeană de celule stem, în cadrul Institutului Național Britanic pentru Standarde și Control Biologic din Hertfordshire. Legea britanică permitea colectarea de celule stem de la embrioni în vârstă de până la 14 zile după concepere, când embrionul este de mărimea unui vârf de ac cu gămălie. Embrionii neutilizați din procedurile de fertilizare in vitro au constituit o sursă importantă.

● Și celulele adulte pot fi atotputernice

Constrângerile sau îndoielile referitoare la folosirea celulelor stem embrionare au încurajat acordarea unei atenții sporite celulelor stem adulte, ca alternativă a ingineriei țesuturilor. În timp ce celulele stem embrionare apar în masa celulară internă a unui embrion în vârstă de patru sau cinci zile, și dispar aproape în totalitate când copilul este complet format, anumite linii de celule stem supraviețuiesc pe durata întregii vieți. Menirea lor este să reînnoiască țesuturile. De exemplu, pielea umană își reînnoiește fiecare celulă la un interval de câteva săptămâni, iar alopecia este un exemplu de situație în care celulele stem adulte nu își îndeplinesc datoria.

Cele mai cunoscute celule stem adulte sunt cele care se găsesc în măduva osoasă și contribuie la formarea sângelui și a sistemului imunitar. Transplanturile de măduvă osoasă sunt deja folosite pentru a înlocui aceste celule atunci când nu mai funcționează, cauzând diverse boli. Alte celule stem adulte erau mai dificil de găsit și păreau mai dificil de cultivat. Totuși, în 2001, Institutul Național al Sănătății din Statele Unite ale Americii (US National Institutes of Health – NIH) au anunțat că, pe lângă măduva osoasă, printre sursele cunoscute de celule stem adulte erau incluse sângele, corneea și retina, creierul, mușchii scheletici, pulpa dentară, ficatul, pielea, mucoasa tractului gastrointestinal și pancreasul.

Celulele stem adulte sunt nespecializate, dar păreau la început a fi predispuse sau disciplinate să formeze anumite tipuri de țesuturi. În organismul viu, aceasta este foarte bine, în caz contrar teratomul alcătuit din țesuturi eterogene ar fi ceva obișnuit. Cu toate acestea, oamenii de știință au continuat să caute celule stem adulte „pluripotente”, care să poată forma orice tip de țesut, asemenea celulelor stem embrionare.

Catherine Verfaillie de la Minnesota a fost cea care a reușit. La sfârșitul anului 2001, ea și-a uimit colegii anunțând că mici celule din măduva osoasă a unui cobai adult au contribuit la formarea a aproape orice tip de țesut, când au fost injectate într-un embrion de cobai. Aceste celule au putut fi cultivate și în exteriorul organismului în același fel ca și celulele stem embrionare și nu au dat niciun semn de îmbătrânire, cum se întâmplă cu alte celule tisulare atunci când sunt cultivate.

„Acestea ar putea fi o sursă ideală de celule pentru tratamentul bolilor ereditare sau degenerative”, au afirmat Verfaillie și colaboratorii ei de la Minnesota. În paralel cu studiul pe cobai, ei au obținut celule pluripotente similare de la ființe umane și s-au așteptat la un progres rapid al aplicațiilor medicale. Oricât ar suferi pacienții de alte boli, aproape toți au o măduvă osoasă sănătoasă. Astfel s-ar putea deschide calea, mai rapid decât se credea, către ingineria tisulară multi-laterală care lucrează cu propriile celule stem ale pacientului.

- Pentru o privire de ansamblu asupra dezvoltării, vezi capitolul EMBRIONII.



Ameliorări genetice pentru cei mai favorizați
locuitori ai planetei

- CLĂDIRE ALBĂ, MODERNĂ, ce poate fi localizată în zona industrială a aeroportului din Beijing, nu s-ar putea compara niciodată cu Marele Zid Chinezesc sau cu Orașul Interzis, ca atracție turistică. Întesat cu computere chinezești ultraperformante și decodoare occidentale de gene, Institutul de Genomică din Beijing este însuși simbolul unei țări în curs de dezvoltare, în plină tranziție spre o economie bazată pe știință. Aici, Yang Haunming și colegii săi au uimit lumea botanicii și a științei agricole decodând 50 000 de gene ale speciei *Oryza sativa* – mai bine cunoscută drept planta cu cele mai răspândite culturi din lume, orezul.

Institutul de Genomică din Beijing s-a constituit ca o inițiativă privată, nonprofit a lui Yang și a câtorva geneticieni care s-au format în Europa și în Statele Unite ale Americii. Abia în anul 2000 au început să exploreze întregul set de gene sau genomul orezului. La sfârșitul anului 2001, ei aproape au reușit să finalizeze.

Cu zece ani înainte, Japonia lansase un program care s-a dezvoltat devenind Proiectul Internațional de Structurare a Genomului de Orez, și care a implicat un consorțiu multinațional de laboratoare publice. Scopul său era să stabilească versiunea definitivă a genomului de orez, în care fiecare genă să fie localizată cu grijă în raport cu celelalte, specificându-se posibilul său rol. Dar finalizarea acestui uriaș proiect nu era prevăzută înainte de anul 2004, și între timp s-a apelat la o metodă mult mai rapidă de a obține o primă analiză a genomului.

O tehnică rapidă denumită tehnica „shotgun” de secvențiere a întregului genom, prin care computerul reface genele din fragmente aleatoare ale codului genetic, fusese dezvoltată de către Craig Venter și compania Celera din Maryland pentru genomul uman. Yang și echipa sa au adoptat această metodă pentru genomul orezului, împreună cu sloganul lui Venter, „descoperirea nu poate să aștepte”. Ceea ce i-a determinat să lucreze în schimburi de câte 12 ore, zi și noapte, a fost vestea că un laborator din Utah, care colabora cu compania elvețiană Syngenta, reușise deja să secvențieze genomul orezului.

Locuitorii Indiei și Chinei depind de orezul indica cu bobul lung, precum mașinile de combustibil. Syngenta a secvențiat subspecia japonică cu bobul scurt, preferată în alte țări. Cu convingerea că țara sa, China, ar trebui să se axeze pe specia indica, echipa din Beijing a ales varietățile din care fusese format hibridul foarte productiv, LYP9.

În ianuarie 2002, Yang a anunțat decodificare a 92% din genele orezului indica. În săptămânile care au urmat, circuitele telefonice internaționale au fost asaltate de informația digitală, pe măsură ce sute de laboratoare descărcau transcrierea codului genetic al orezului indica. Aceasta era o sursă prețioasă de informație disponibilă gratuit pentru cultivatorii care doreau să-și îmbunătățească recolta pentru a hrăni o populație în creștere – dar și pentru biologii și arheologii în căutare de informații fundamentale în legătură cu evoluția plantelor și cu aclimatizarea celor mai nutritive dintre ele în timpul Revoluției Agricole de acum 10 000 de ani.

● Cele mai alese cereale

„Cele mai prețioase lucruri nu sunt jadul și perlele, ci cele cinci cereale”, spune un proverb chinezesc. Care sunt cele cinci, cu excepția grâului și a orezului, este o problemă discutabilă. În general, lista principalelor cereale ar include alături de cele două porumbul, orzul, ovăzul, secara, meiul și sorgul. Este demn de reținut că toate au fost aclimatizate cu mult timp în urmă de către așa-zii vânători-culegători primitivi.

O combinație dintre botanică, ce urmărește evoluția speciilor sălbatice de plante ierboase, și arheologie, care descoperă dovezi ale cultivării și domesticirii unor specii, a explicat unele mistere legate de marea tranziție. Sunt acceptate două ipoteze principale, deși nu există nicio dovadă directă în sprijinul lor. Una susține că femeia a transformat existența umană, fiind prima care a cultivat cerealele. În comunitățile de vânători-culegători, experții în plante erau femeile.

Cealaltă ipoteză este că modificările drastice ale climatului și ale mediului de la sfârșitul ultimei ere glaciare, în urmă cu 11 000 de ani, au stimulat și au favorizat domesticirea culturilor. Altfel, ar fi o coincidență prea mare faptul că popoarele din Orientul Mijlociu au început să cultive grâu și orz aproximativ în același timp în care s-au cultivat pentru prima dată orezul în Asia de Sud-Est și cartofii în Peru. Porumbul american sau păpușoiul (*Zea Mays*) a apărut cu câteva mii de ani

mai târziu în Mexic, ca rezultat al descoperirii unui mutant cu bobul moale, al unei plante lipsite de perspectivă, cunoscută sub numele de teosintă.

Domesticirea s-ar fi produs întâmplător la început, odată cu însămânțarea accidentală a malurilor unor râuri în timpul revărsărilor acestora din matcă. În urmă cu 10 600 de ani, exista deja în Valea Iordanului cel mai vechi oraș agricol cunoscut, Ierihon. Zidurile sale păzeau recoltele de vânătorii și de crescătorii de vite care nu apreciau noua economie. Povestea biblică a lui Cain și Abel ne vorbește despre eterna luptă pentru pământ.

Agricultura s-a dovedit a fi un pas ireversibil pentru culturi și pentru cultivatorii acestora, deopotrivă. Varietățile de plante se bazau mai ales pe o însămânțare planificată. Și mamele, scutite de mersul pe jos obositor pe care îl presupuneau vânatul și culesul plantelor, au pierdut un ajutor natural pentru controlul nașterilor, care amâna menstruația post-natală și următoarea sarcină. Comunitățile sedentare au înregistrat astfel explozii demografice, care au adus după sine intensificarea agriculturii. Astfel, agricultura s-a răspândit cu o viteză de ordinul unui kilometru cultivat pe an.

Cerealele sunt ca pisicile domestice, care știu să se facă atrăgătoare și folositoare speciei umane și, astfel, să se bucure de un tratament preferențial. Au obținut cele mai bune pământuri. Lucrătorii harnici le asigurau apa și îngrășămintele și le pliveau de buruieni. De-a lungul mileniilor, pe măsură ce populațiile agricole se extindeau, la fel făceau și cerealele, și în cele din urmă au trecut de la un continent la altul. Mii de specii s-au dezvoltat în urma unei selecții nenaturale, pentru a se adapta noilor medii.

● Revoluția Verde

La jumătatea secolului al 20-lea, o criză amenința să izbucnească. Nu mai erau terenuri noi care să poată fi cultivate în plus și se înregistra o explozie demografică. Părinții din regiunile cu mortalitate infantilă crescută se lăsau greu convinși de scăderea modestă a ratei mortalității, și aceasta s-a materializat printr-o creștere rapidă a populației în cele mai sărace zone ale lumii. Fantoma lui Thomas Malthus, profetul din secolul al 19-lea care prezisese o catastrofă demografică, bântuia lumea. Devenise o modă ca oamenii de știință să prezică foametea globală drept consecință a suprapopulării.

„Acum pare inevitabil ca moartea prin înfometare să devină un factor determinant în creșterea ratei mortalității”, scria Paul Ehrlich, un influent biolog de la Stanford, în lucrarea sa *Explozia demografică (The Population Bomb)*, apărută în anul 1971. „În absența ciumei sau a războiului, aceasta ar putea deveni factorul major.”

Două tendințe au exorcizat, cel puțin pe moment, fantoma lui Malthus. Una era reducerea natalității, astfel încât în anii 1970 graficul creșterii populației începuse să descrească, anunțând o posibilă stabilizare de aproximativ 10 miliarde în secolul al 21-lea. Cealaltă tendință era Revoluția Verde, în cadrul căreia cultivatorii,

inginerii chimiști și un mare număr de fermieri au avut rezultate mult mai bune decât se preconiza în cursa pe viață și pe moarte dintre hrană și populație.

Producția mondială de cereale s-a triplat în a doua jumătate a secolului al 20-lea. La acest rezultat s-a ajuns practic fără o extindere a suprafeței de teren cultivabil datorită unei remarcabile creșteri a producției în tone la hectar, realizată printr-o inteligență punere în practică a geneticii. Sistemele de irigare, reforma agrară și educația au jucat un rol important în Revoluția Verde, iar chimia industrială a asigurat necesarul de fertilizatori la o scară gigantică.

Metoda fixării azotului din aer, perfecționată de Fritz Haber și Carl Bosch în Germania, în anul 1913, a fost inițial folosită mai ales pentru explozive. După anul 1945, a devenit indispensabilă în producția de fertilizatori pentru agricultura mondială. În anul 2000, se putea estima că 40% din populația lumii trăia datorită surplusului de hrană obținut cu ajutorul azotului industrial și al noilor culturi capabile de a-l utiliza eficient. Faptul că mulți au rămas subnutriți cronic se datorează inegalităților din cadrul și dintre națiuni, și nu unui deficit masiv la nivelul producției.

● Hibrizii pitici

Hibridul de porumb a demonstrat pentru prima dată imensele avantaje ale varietăților de culturi îmbunătățite. Cultivat pe scară largă în Statele Unite începând cu anii 1930, a fost mai târziu adoptat de China și de alte țări pentru a înlocui sorgul și meiul. Și ca un început mai modest al mării Revoluții Verzi, Mexicul și-a putut asigura cantitatea necesară de grâu în anul 1956.

La Centrul Internațional de Îmbunătățire a Recoltelor de Porumb și Grâu din Mexic, finanțat de Fundațiile Rockefeller și Ford, americanul Norman Borlaug a cultivat o specie de grâu mai scundă. Era un hibrid pitic care putea tolera și beneficia de doze mărite de fertilizatori. Tulpina goală a unei cereale suprafertilizate ar crește prea mult și s-ar rupe ușor sub greutatea spicului. Evitând aceasta, grâul pitic a îmbunătățit producția maximă la hectar de la 4,5 la 8 tone.

Adoptat apoi în zone unde una sau două tone la hectar reprezentau norma, grâul pitic al lui Borlaug a adus beneficii senzaționale. În India, de exemplu, producția de grâu s-a dublat între anii 1960 și 1970. Încrucișările locale au adaptat varietățile pitice la diferite climate, proceduri de cultivare și preferințe culinare.

„Sunt nerăbdător”, spunea Borlaug, „și nu accept necesitatea unei schimbări și evoluții lente care să îmbunătățească agricultura și producția de cereale a țărilor în curs de dezvoltare. Propun ca alternativă «o producție explozivă». Nu este timp de pierdut.”

Un alt erou al Revoluției Verzi a fost indianul Gurdev Khush. El a lucrat la Institutul Internațional de Cercetare a Orezului din Filipine, de asemenea finanțat de Fundațiile Rockefeller și Ford. Între anii 1967 și 2001, Khush a dezvoltat peste 300 de noi varietăți de orez pitic. Hibridul IR36, lansat în anul 1976, a

devenit cea mai cultivată cereală din istoria lumii. Plantat pe o suprafață de 11 milioane de hectare în Asia, orezul pitic a dus la o creștere a producției globale de orez cu până la 5 milioane de tone pe an.

Popularitatea hibridului IR36 a fost în curând depășită de noile varietăți ale lui Khush, dintre care cea mai nouă urma să apară în 2005, cu o țintă de producție de 12 tone la hectar în condiții de irigare tropicale. „Le va oferi cultivatorilor șansa să-și mărească productivitatea, așa că se va răspândi rapid”, a spus atunci Khush. „Deja produce 13 tone la hectar în regiunile temperate din China.”

Astfel de cifre nu trebuie considerate absolute. Există o diferență majoră între teorie și practică. În anul 1999, producția medie de orez era de trei tone la hectar, iar la grâu sensibil mai puțin, în timp ce porumbul înregistra o producție de aproximativ patru tone la hectar. Incapacitatea fermierilor de a plăti pentru irigare și fertilizare, împreună cu apariția bolilor, au dus la scăderea producției.

● Orezul – o speranță pentru eradicarea bolilor cerealelor

Mana orezului, cauzată de ciuperca *Magnaporthe grisea*, reduce producția globală de orez cu milioane de tone pe an. Boala este extrem de adaptabilă și în câțiva ani poate „păcăli” genele care conferă rezistență în cazul unei anumite specii. Variațiile genetice ale plantelor individuale au fost întotdeauna cea mai bună apărare împotriva molimelor și a bolilor, dar cultivarea rafinată în scopul obținerii unei producții maxime limitează baza genetică. Prin plantarea unei singure varietăți cu producție ridicată pe arii extinse, cultivatorii riscă o catastrofă.

Un experiment de amploare desfășurat în provincia chineză Yunnan între anii 1998–1999 a demonstrat că până și cea mai redusă combinație de specii de orez poate fi eficientă. O varietate glutinoasă folosită în cofetărie, populară în acea parte a Chinei, este extrem de vulnerabilă manei. Unii cultivatori aveau obiceiul de a planta șiruri de orez glutinos alternate cu șirurile culturii principale de orez hibrid. Cercetătorii au testat acest procedeu la scară largă, cu participarea a mii de fermieri. Ei au descoperit că o cultivare mixtă reduce infectarea cu mană de la 20% în cazul culturii glutinoase și 2% în cazul culturii principale, la 1% pentru ambele varietăți.

„Experimentul a fost atât de reușit încât sprayurile fungicide nu au mai fost necesare până la sfârșitul proiectului, care a durat doi ani”, au declarat Zhu Youyong și colaboratorii lui de la Universitatea Agricolă din Yunnan. „Rezultatele noastre susțin ideea că diversificarea intraspecifică a culturilor reprezintă o abordare ecologică a controlului bolilor.”

În timp ce mana afectează orezul, acesta este imun la rugină. Rezistența la rugina cauzată de ciuperca *Puccinia* este una dintre marile calități ale orezului, dar cultivatorii au avut un succes limitat în combaterea ei în cazul altor cereale. „Imaginați-vă avantajele transferării genelor care asigură imunitatea la rugină a orezului la grâu, orz, ovăz, porumb, mei și sorg”, a spus Borlaug. „În sfârșit,

lumea ar putea fi eliberată de flagelul ruginii care a adus de atâtea ori foametea de-a lungul istoriei.”

Astfel de vise, dar și speranța că vor putea fi cultivate cereale care rezistă în condiții aride sau în soluri acide și sărate, vor trebui să fie împlinite pe măsură ce cursa dintre hrană și populație continuă. În anii 1990, fabuloasa rată a creșterii caracteristică deceniilor precedente a început să scadă. Producția de cereale a rămas din nou în urma creșterilor demografice.

Cu o creștere a populației de peste 2 miliarde până în anul 2025, conform estimărilor, și datorită cererii crescute de carne provenită de la animalele consumatoare de cereale, se estimează că va fi nevoie de o creștere a producției de cereale cu 50–75% în primul sfert al secolului al 21-lea. Terenurile disponibile continuă să se reducă în loc să se extindă, astfel încât producția de cereale la hectar are nevoie de încă un impuls considerabil.

● Un tezaur de gene

Descifrarea genomului de orez a adus o rază de speranță oamenilor săraci și înfometați. Când primele studii referitoare la speciile de orez indica și japonica au devenit disponibile, în anul 2002, 16 „viitoare centre agricole” din lume au început să exploateze noile descoperiri. Următoarea întrebare a fost cât de importante erau informațiile despre orez pentru cultivatorii altor cereale.

„Grâul înscamnă orez”, a declarat Mike Gale de la Centrul John Innes din Marea Britanie. Această declarație profetică, făcută prima dată în anul 1991, însemna de fapt că, prin cunoașterea genomului de orez, se obține o predicție clară asupra genomului de grâu sau al altor cereale. Deși cromozomii de grâu conțin material genetic (ADN) de 36 de ori mai mult decât cromozomii de orez, și chiar dacă cele două specii s-au separat una de cealaltă cu 60 de milioane de ani în urmă, Gale a descoperit că genele și ordinea lor de aranjare sunt extraordinar de asemănătoare la cele două cereale.

Prin comparație, numerele corespunzătoare ADN-ului, calculate în milioane de litere ale codului genetic, sunt 430 pentru orez și 16 000 pentru grâu. Nu-i de mirare că geneticienii au decis să analizeze mai întâi genomul de orez. Porumbul este la mijloc, cu 3 000 de milioane de litere, la fel ca și codul genetic uman.

Aceste mari diferențe reflectă trecutul botanic și agricol al cerealelor, când nu era ceva neobișnuit ca seturi întregi de gene să se dublice. Din moment ce grâul nu este de 36 de ori mai deștept decât orezul, probabil că majoritatea materialului său genetic este redundant sau inert. Până la descifrarea codurilor genetice pentru grâu și pentru porumb, după cum a promis s-o facă Institutul de Genomică din Beijing, genomul de orez era un bun expedient.

Când sunt descoperite gene valoroase la orez – cum ar fi cele pentru adaptarea la solurile acide, de exemplu – există două modalități pentru a aplica aceste infor-

mații și la alte cereale. Una este transferul direct de gene de la o specie la alta prin inginerie genetică. Aceasta nu este atât de rapidă pe cât pare, pentru că necesită ani de muncă pentru a verifica stabilitatea și siguranța genei transferate și pentru a o testa în diferite specii și medii. Cealaltă modalitate este căutarea analoagei genei de orez pentru adaptarea la solul acid (sau la altceva) printre varietățile cerealei însăși. Descifrarea genomului plantelor sporește colosal valoarea fondurilor de semințe de rezervă ale statelor lumii.

Dacă vă amintiți, Cambodgia era foarte înfometată după devastarea din timpul regimului lui Pol Pot. Comunitățile de fermieri au pierdut, sau au mâncat ca să nu moară de foame, toate semințele de orez de apă adâncă din agricultura khmeră tradițională. În anul 1989, o tânără agronomă, Chan Phaloeun, și mentorul său australian Harry Nesbitt au început o muncă asiduă care a durat 12 ani, prin care a fost refăcută agricultura din Cambodgia. Nesbitt a adus de la Institutul Internațional de Cercetare a Orezului semințe cambodgiene care fuseseră bine păstrate la periferia orașului Manila.

Chiar și în tropicalele Insule Filipine ai nevoie de o haină călduroasă dacă vrei să vizitezi banca de gene a institutului. Colecțiile active sunt păstrate la 2°C, iar colecțiile de bază la minus 20°C. Pachetele și canistrele cu semințe reprezintă mult mai mult decât o rezervă de siguranță. Având în banca de gene peste 110 000 de varietăți de orez cultivat în mod tradițional și specii sălbatice înrudite, posibilitățile pe care le au cultivatorii sunt extraordinare.

Subspeciile și varietățile de *Oryza sativa* au fost mai mult sau mai puțin eficiente în diferite medii și experiențe agricole. Speciile sălbatice conțin chiar și orezul de pădure. Există reprezentanți adaptați la diferite tipuri de soluri, la anotimpuri uscate sau umede, și la alte riscuri. Orezul din banca de gene a rezistat unor molime și altor boli de care fermierii poate au uitat, dar care pot reapărea.

Până în secolul al 21-lea, oamenii de știință și cultivatorii n-au putut folosi tezaurul de gene de la Manila. Nu aveau nicio metodă de a evalua fiecare specie în parte, în timpul unei vieți umane. Datorită descifrării genomului orezului și tehnicilor moderne ale biologiei moleculare care permit investigarea a sute sau mii de gene într-o singură operație, colecția poate fi acum valorificată. Dacă se identifică o genă importantă din punct de vedere funcțional, se pot căuta alte variante existente care sunt extrem de folositoare cultivatorilor.

Hei Leung de la Institutul din Manila a asemuit genomul de orez cu un dicționar care cuprinde toate cuvintele, dar de unde lipsesc majoritatea definițiilor. El era optimist atât în ceea ce privește completarea rapidă a definițiilor, cât și descoperirea de noi variante în banca de gene. Cu toate acestea, el a avertizat că pentru cultivarea noilor varietăți poate fi necesar un deceniu sau mai mult.

„Întocmai ca și cuvintele pentru poezie, compunerea creativă a genelor reprezintă esența cultivării cu succes a plantei”, a remarcat Leung. „Totul se va reduce doar la cât de bine putem folosi acest dicționar.” Pentru a înțelege mai bine

potențialul său, rețineți că, din zecile de mii de gene din dicționarul cerealelor, doar două au făcut posibilă Revoluția Verde. Speciile de grâu și orez pitice au crescut așa datorită genelor mutante care afectează hormonul de creștere al plantelor, gibberelina. *Rht* la grâu și *sd1* la orez au salvat lumea de la înfometare.

- Pentru genomul unei alte plante, vezi **ARABIDOPSIS**. Pentru mai multe informații despre Malthus, vezi **ECOLOGIA UMANĂ**.



"D RAGUL MEU FIU, am iubit știința atât de profund încât aceasta m-a emoționat până în adâncul inimii". Astfel îi vorbea bătrânul fizician Jean-Baptiste Biot din Paris unui student la chimie în vârstă de 24 de ani, Louis Pasteur, căruia tocmai îi arătase, în particular, un truc magic cu cristale. Aceasta se petrecea în anul 1847, cu mult înainte ca Pasteur să fie recunoscut pentru descoperirile sale în domeniul biologiei microbilor și al medicinei.

Biot însuși observase că zahărul normal are un efect remarcabil asupra luminii. Dacă lumina trece printr-un cristal adecvat, ea se polarizează, ceea ce înseamnă că toate undele sale vibrează în aceeași direcție, care face un unghi drept cu direcția de propagare a razei. Dacă lumina astfel polarizată trece apoi printr-o soluție de apă cu zahăr, direcția polarizării ei se rotește în sensul acelor de ceasornic, spre dreapta. Aceasta este o modalitate simplă de a măsura concentrația soluției de zahăr cu apă folosind un polarimetru.

Alte substanțe interacționează, de asemenea, cu lumina polarizată, rotindu-i direcția de polarizare către dreapta sau către stânga, în funcție de situație. Un mister care i-a atras atenția lui Pasteur se referea la acidul tartric conținut de struguri. Acesta rotea lumina către dreapta, și totuși varianta sa sintetică, acidul racemic, nu avea același efect, cu toate că dispunea de aceeași compoziție chimică de atomi de carbon, de oxigen și de hidrogen. El a dezlegat acest mister cu ajutorul cristalelor asimetrice, făcute din cele două substanțe.

Pentru demonstrație, Biot a pus el însuși la dispoziție mostrele și a realizat propriile sale teste. El l-a privit pe Pasteur folosind un microscop pentru a sorta

cristalele făcute din acid racemic în numere egale de două feluri. Acestea erau asimetrice în două moduri distincte, ca mâna dreaptă și mâna stângă, care nu pot fi rotite pentru a se suprapune una peste alta. Unele aveau aceeași formă ca și tartratul natural, în timp ce celelalte erau imagini în oglindă ale acestuia.

Biot a dizolvat noile cristale de tip „ imagine în oglindă ” și le-a testat cu polarimetrul său. A observat imediat că acestea roteau lumina către stânga, în sens opus tartratului natural. La un nivel superficial misterul era rezolvat, deoarece cele două forme prezente în materialul sintetic își anulau reciproc efectele asupra luminii. Însă Biot a fost profund emoționat pentru că a intuit implicațiile mult mai adânci.

Proprietatea substanțelor chimice pe care a descoperit-o Pasteur a fost denumită chiralitate, cuvânt care provine din rădăcina greacă „cheir”, care înseamnă mână, făcând referire la proprietatea mâinilor de a diferi față de imaginea lor în oglindă. Era un fapt cunoscut că majoritatea oamenilor sunt dreptaci și că sensul de spiralare al cochiliilor de melci are o direcție preferențială. Dar conceptul de moleculă nu era foarte clar în vremea tinereții lui Pasteur, așa că afirmația că moleculele sunt capabile de a-și asuma forme asimetrice era cu atât mai remarcabilă.

În anul 1874, un alt student la chimie în vârstă de 22 de ani, Jacobus van't Hoff de la Utrecht, a înțeles modul în care moleculele de hidrocarburi, cum ar fi zahărul, pot manifesta chiralitatea. Un atom de carbon formează patru legături chimice cu alți atomi. Legăturile sunt dispuse în spațiul tridimensional întocmai ca vârfurile unei piramide triunghiulare sau ale unui tetraedru.

Să presupunem că legăturile din jurul bazei piramidei corespund atomilor de carbon, azot și oxigen. Acestea s-ar putea citi, în sensul acelor de ceasornic, fie C-N-O, fie C-O-N. Cele două aranjamente moleculare posibile sunt imagini reciproce în oglindă, și unul se poate numi levogir, iar celălalt dextrogir.

Extrem de simplu într-adevăr, în afara faptului că, după intervenția lui van't Hoff, chimiștii au trebuit să învețe să gândească tridimensional.

● Chimiștii concurează cu chiralitatea naturală

În timp ce produsele naturale sunt predispuse în mod exclusiv către o formă sau alta, reacțiile chimice normale produc de obicei versiuni atât dextrogire cât și levogire ale moleculelor, în cantități egale. Chimiștii urmăresc să obțină molecule optic active în special într-un mediu anorganic, într-o eprubetă sau într-un proces industrial. O modalitate este separarea celor două forme ale unui produs chimic printr-o tehnică numită cromatografie, și eliminarea formei nedorite. Însă ar fi mai ingenios să fabrici doar forma de care ai nevoie.

În anul 1966, un masterand la chimie din Kyoto, Ryoji Noyori, a descoperit cum să obțină catalizatori care accelerau preferențial sintetizarea altor substanțe cu chiralitate predefinită. Fiecare catalizator folosea un atom de metal drept

conducător al reacției, aparținând unui compus al carbonului de formă potrivită care controlează forma produsului final.

În cazul cel mai fericit, pe care Noyori a continuat să-l cerceteze la Nagoya, el a legat metalul ruteniu de un compus al naftalinei. Acest catalizator a accelerat adăptia atomilor de hidrogen la atomii de carbon, legați inițial printr-o legătură chimică dublă, cu un bun randament de producere a compușilor levogiri sau dextrogiri. Folosind compuși ai carbonului cu diferite metale, Barry Sharpless de la Institutul de Cercetări Scripps din California a obținut la rândul lui compuși chirali prin alte tipuri de reacții, denumite epoxidare și dehidroxilare.

La sfârșitul secolului, așa-numiții catalizatori organometalici erau utilizați la scară largă în industrie și în cercetările de laborator. Ei au fost perfecționați până la stadiul în care o moleculă de catalizator era suficientă pentru producerea a până la 100 000 de molecule de compus chiral. În unele cazuri, catalizatorii sintetizați de om au depășit în eficiență enzimele naturale.

„Avem o mulțime de metale din care să alegem, fiecare cu efecte catalizatoare diferite, și un număr nelimitat de molecule levogire sau dextrogire la care să legăm atomii de metal pentru a ghida formarea compușilor chirali”, a afirmat Noyori. „Astfel că întotdeauna va fi loc pentru catalizatori noi și mai performanți, cel puțin până când nu vom obține reacții chimice perfecte, fără pierderi și cu randament de 100% al producției de molecule chirale.”

● Misterul preferințelor vieții

Chiralitatea moleculară descoperită de Pasteur are încă o puternică influență asupra chimiei, biochimiei și astrochimiei, precum și asupra ipotezelor referitoare la originea vieții, în care chiralitatea complică foarte mult problema chimică. Formele cristalelor și efectele asupra luminii pot fi explicate ambele prin dispunerea atomilor în molecule. Și pe măsură ce oamenii de știință au dezvăluit chimia organică în secolele al 19-lea și al 20-lea, ei au confirmat din nou faptul că organismele sunt foarte pretențioase.

Spirala elicoidală a acidului dezoxiribonucleic – ADN – care formează genele, se rotește aproape întotdeauna în aceeași direcție ca un tirbușon. Uneori apare și ADN-ul care se rotește în sens invers, numit Z-ADN, ce poate avea funcții genetice speciale. Însă acesta nu reprezintă o imagine în oglindă a ADN-ului normal. Nici n-ar putea fi, deoarece trebuie să potrivească împreună subunități chimice cu propriile lor rotații.

În mod similar, cele 20 de tipuri de aminoacizi utilizate la formarea proteinelor sunt molecule levogire. Când proteinele se comportă ca enzime în realizarea altor molecule, ele își comunică preferințele lor chirale. De aceea zahărul natural fabricat în plante cu ajutorul enzimelor este optic activ cu un efect predictibil asupra luminii polarizate.

Valoarea nutritivă a hranei, eficacitatea medicamentelor și puterea parfumurilor, toate acestea depind de chiralitatea moleculelor. O formă a moleculelor de limonenă miroase a lămâie, iar imaginea ei în oglindă are miros de portocale. De obicei, versiunile eronate ale moleculelor biologice active sunt inutile ființelor vii și uneori otrăvitoare.

Întrebările fundamentale despre chiralitatea chimică rămân deocamdată fără răspuns. Nu este surprinzător faptul că toate organismele vii prezintă același model de chiralitate moleculară, dat fiind că ele par să descindă din strămoși comuni de demult. Dar modalitatea prin care au reușit primele celule primitive să se structureze și să trăiască pe baza unor versiuni alese ale moleculelor, evitând totodată imaginile în oglindă, rămâne un mister.

S-a vehiculat un argument frecvent, dificil de combătut, pentru cei care susțineau intervenția divină în biochimia primordială. Pasteur însuși era destul de preocupat de ideea găsirii unei cauze fizice a chiralității în lumea vie. El a fost dezamăgit în urma efectuării unui experiment cu magneti puternici, care nu au avut niciun efect asupra chiralității moleculare. Totuși, era convins că trebuie să existe o explicație cosmică pentru aceasta. Pasteur a insistat: „*Universul este asimetric*”.

● Lumile și antilumile fizicienilor

Încercarea lui de a pasteuriza cosmosul cu magneti a revenit în atenție în 1957, când s-a descoperit că Universul este asimetric dintr-un alt punct de vedere. Fizicienii au descoperit o preferință a materiei obișnuite, care făcea ca toate particulele fantomatice numite neutrini să se rotească spre stânga, în jurul direcției lor de deplasare. Aceasta viola principiul parității, care impune particulelor să se rotească în egală măsură în fiecare direcție. Pentru a găsi un neutrin care să se rotească spre dreapta, trebuie să intri în lumea din oglindă a antimateriei și să cauți antineutrini.

Eșecul principiului parității a asigurat, pentru prima dată, un mod obiectiv de a diferenția stânga de dreapta. Oamenii trebuie să învețe această distincție în mod subiectiv, așa cum învață sergenții la instrucția militară. Într-o versiune cenzurată: „Fă-mi plăcerea, tinere domn, de a-mi arăta în care mână ții de obicei un cuțit. Mulțumesc. Deci, data viitoare când te invit să te întorci la dreapta...”.

Dacă ar fi să-ți imaginezi o întâlnire cu un astronaut extraterestru, într-un univers imaginar în care materia și antimateria sunt în egală măsură prezente, cum ai evita un accident? Materia și antimateria se anihilează reciproc. Înțelept ar fi să trimiți un mesaj în care să explici obiceiul nostru de a strânge mâna și să atragi atenția că folosim mâna corespunzând direcției opuse de rotație a neutrinelor. Dacă extraterestru provine dintr-o antilume, fizicienii de la baza lui se vor gândi la antineutrini. Richard Feynman de la Caltech, care a recomandat pentru prima oară această precauție necesară datorită încălcării parității, a concluzionat: „Dacă îți va întinde mâna stângă, ferește-te!”

Unii chimiști au considerat că violarea principiului parității reprezenta asimetria Universului preconizată de Pasteur, care rezolva problema chiralității moleculelor la începutul vieții. Efectele fizico-chimice, spuneau ei, făceau ca una din cele două forme ale unei molecule, levogiră sau dextrogiră, să fie puțin mai stabilă decât cealaltă. Rotirea spre stânga a neutrinelui favoriza tendința levogiră a aminoacizilor.

Această idee a părut impresionantă până să se ajungă la cifre. Diferența de stabilitate între moleculele levogire și dextrogire datorată violării parității este de numai o milionime de milionime de procent. Dacă această diferență ar fi fost semnificativă, de ce nu au reușit chimiștii să o utilizeze în experimentele de laborator? Ar trebui să fie mai ușor pentru chimiști să atingă rezultatele dorite decât pentru chimia aleatorie de la începuturile planetei Pământ.

O speranță mai veche era aceea că lumina ar putea avea un efect mai puternic. Dacă chiralitatea moleculelor afecta lumina polarizată, de ce nu ar răspunde și lumina polarizată la fel în cursul reacțiilor chimice, influențând formarea moleculelor optic active? În 1997, Yoshihisa Inoue de la Osaka a anunțat noutăți despre succese obținute în această direcție.

El și colegii săi au utilizat lumină ultravioletă polarizată circular, în care direcția de oscilație a undei se rotește în mod spontan, fie în sensul acelor de ceasornic, fie în sens contrar. Iluminând cu această radiație ultravioletă o substanță numită 4-ciclooctenă, un inel răsucit de opt atomi de carbon, ei au obținut o majoritate de molecule cu o direcție de rotație ce coincidea cu direcția de rotație a luminii polarizate. Echipa a obținut în curând rezultate similare cu aminoacizii, componente esențiale ale vieții.

„Această cercetare are o importanță teoretică majoră”, a spus Inoue, „care este corelată cu originea chiralității în biosferă”. S-a emis ipoteza că lumina polarizată provenind de la stelele neutronice puternic magnetizate ar putea afecta chiralitatea moleculelor care se formează în spațiul interstelar. Aceasta, la rândul ei, ar putea fi originea substanțelor cu o anumită preferință chirală, care s-au format pe tânără noastră planetă înainte de apariția vieții. William Bonner și Edward Rubenstein de la Stanford au sugerat acest scenariu, iar Inoue considera că experimentele sale i-au confirmat posibilitatea.

Alți oameni de știință considerau că e mult mai probabil ca sursa moleculelor optic active necesare vieții să se afle pe Pământ. Faptul că acidul racemic al lui Pasteur se divide în cristale de tartrat și antitartrat demonstrează că simplele molecule își pot recunoaște reciproc chiralitatea și se pot grupa în funcție de aceasta. În alte condiții, preexistența moleculelor cu un anume tip de chiralitate ar putea induce, prin simpla lor prezență, formarea unor noi molecule cu aceeași proprietate. Când moleculele sunt concentrate, o asemenea inducție este mult mai probabilă decât într-o soluție diluată, într-un gaz sau în spațiul interstelar.

„Pare plauzibil ca, pe Pământul primordial, selecția chiralității în moleculele vieții să fi avut loc în starea solidă sau la suprafața unei substanțe solide”, a afir-

mat Reiko Kuroda de la Tokyo. De la începutul secolului al 21-lea, ea a lansat, împreună cu o echipă, cercetările în domeniul chiromorfologiei – ramură a științei referitoare la forma chirală, existentă în natură la toate nivelele, microscopic sau macroscopic, organic sau anorganic. Punctul ei de plecare a fost chimia stării solide.

Scopul acestei discipline este de a analiza modul de dispunere a moleculelor într-un cristal și de a distinge influența chiralității moleculare asupra interacțiunilor lor la mică distanță. Specialiștii speră să descopere noi tipuri de reacții chimice între compuși solizi care să favorizeze o anumită chiralitate, așa cum se întâmplă în cazul compușilor organometalici. Kuroda a descoperit astfel de exemple, și a proiectat și realizat un dispozitiv nou pentru studiul chiralității în starea solidă. În afară de potențialele lor aplicații în industria chimică și farmaceutică, aceste reacții ar putea explica evenimentele petrecute pe Pământ în perioada lui timpurie de existență.

► Asimetria stânga-dreapta la plante și la animale

Fasolea cățărătoare și zorelele sunt exemple cunoscute de plante agățătoare care se cațără în spirală în jurul aracilor, pe copaci sau pe arbuști. Ele au un cert avantaj în competiția pentru lumina disponibilă. Majoritatea plantelor agățătoare cresc într-o spirală în sens orar (spre dreapta), dar sunt și unele care se spiralează în sens antiorar (spre stânga). Indicații revelatoare asupra controlului acestui mod de creștere au fost oferite de planta *arabidopsis*, ale cărei gene au fost investigate la scară largă și descifrate la începutul secolului al 21-lea.

*Arabidopsis*ul crește în mod normal drept. Takashi Hashimoto și colegii săi de la Institutul de Știință și Tehnologie din Nara au descoperit că puteau determina răsadurile să crească în formă spiralată în sens antiorar dacă le administrau medicamente care afectează structurile existente în celulele plantei – acele molecule lungi, subțiri, denumite microtubuli. Ei au descoperit plante *arabidopsis* mutante care se rotesc spre dreapta în două cazuri și spre stânga într-un altul. Genele mutante afectează în mod direct construcția microtubulilor. Se pare că multe plante pot avea opțiunea latentă de a se spirala, dar la cele care cresc drept tendințele stânga-dreapta se compensează reciproc.

La animale, specialiștii în biologia dezvoltării au început să înțeleagă modalitatea prin care genele organizează simetria generală, aproximativă a corpului, din structurile acestuia care sunt împerecheate: ochi, picioare, aripi, coaste etc. Rămân însă și asimetrii esențiale, cum ar fi amplasarea în partea stângă a inimii umane și aranjarea diferitelor ei camere și a vaselor de sânge în cele două părți ale acesteia. Cum poate un embrion diferenția partea stângă de partea dreaptă?

Sute de cili, asemănători firelor de păr, situați pe suprafețele celulelor embrionare, oscilează prin fluidul înconjurător. Ei se rotesc în sensul acelor de ceasornic, dirijând astfel fluidul pe lângă embrion într-o direcție privilegiată. În 1998,

Nobutaka Hirokawa, Shigenori Nonaka și colegii lor de la Tokyo (ulterior de la Osaka) au descoperit, experimentând pe embrioni de șoareci, că fluidul își schimbă direcția de la dreapta la stânga într-un centru de reglare esențial, denumit nod.

Presupunând că acest efect al cililor informează embrionul în creștere care parte e stânga și care e dreapta, echipa lui Nonaka și-a continuat cercetările pentru a demonstra aceasta. Ei au urmărit să compenseze acțiunea naturală, pompând fluid pe lângă embrionii de șoareci în direcția opusă față de cea naturală. Rezultatul a fost că embrionii s-au dezvoltat prezentând inversiunea stânga-dreapta în planul de formare al corpurilor lor. Toate animalele vertebrate par să prezinte acest mecanism de organizare, care depinde de simpla rotație a cililor embrionari.

● Neîndemânare și sporturi de moluscă

Încă și mai subtile sunt variațiile care-i fac pe unii indivizi să fie stângaci la aruncări, la digitație și la scris. Aproximativ 10% dintre oameni sunt în mod natural stângaci, iar numărul pare să fie și mai mare în rândul cimpanzeilor, cele mai apropiate rude ale noastre din regnul animal. Șansele de a te naște stângaci sunt duble dacă și mama este stângace, totuși majoritatea copiilor care se nasc din doi părinți stângaci rămân dreptaci.

Cuvinte ca „sinistru” (de la latinescul „sinister”, însemnând stâng), stângaci și neîndemânatic defăimează această particularitate, în timp ce cuvinte ca „dexter” și îndemânatic ridică în slăvi presupusa superioritate a ceea ce considerăm normal. Altfel, numeroasele inconveniente ne semnificative din viața unui stângaci nu aduc dezavantaje generale fizice sau mentale. Primii oameni care au ajuns pe Lună, Neil Armstrong și Buzz Aldrin, erau amândoi stângaci. Lista stângacilor se extinde de la Alexandru cel Mare și tutorele său, Aristotel, până la Picasso, Einstein, Gandhi și Navratilova – ca să nu-i mai menționăm pe Bart Simpson și o mare parte dintre cei mai recentți președinți ai Statelor Unite. În pofida numeroaselor studii și ipoteze, o explicație acceptată a caracteristicii de a fi stângaci rămâne evazivă.

Care este modalitatea de dispunere sistematică a varietății de molecule din animale și plante pentru a forma celule, care la rândul lor să alcătuiască un organism viu cu o anumită chiralitate? Care este originea ei moleculară? Unele indicii care ne-ar conduce către un răspuns al acestei întrebări fascinante dar dificile pot fi oferite de organisme cu cochilii spiralate.

Frumoasele spirale în sens orar sau antiorar apar la cochiliile melcilor, melcilor de mare și melcilor turtiți – moluște asimetrice denumite generic gasteropode. Pe cochiliile lor aproximativ conice se poate observa o linie crestată spiralându-se către vârf. Gasteropodele din întreaga lume prezintă o tendință pronunțată spre spiralarea în sens orar, spre dreapta, a cochiliilor lor, cu toate că unele specii sunt predominant stângace.

Uneori un colecționar este încântat să găsească un exemplar care se spiralează diferit de celelalte din aceeași specie. După câte se pare, animalele afectate sunt normale din alte puncte de vedere. Interesant este faptul că asimetria stânga-dreapta apare într-un stadiu timpuriu de dezvoltare a embrionilor de gasteropode. Acestea urmează modelul tipic de diferențiere, denumită diferențiere spiralată, al cărei sens de rotație (spre stânga sau dreapta) se regăsește la cochiliile adulte.

În Tokyo, Reiko Kuroda a pus bazele cercetării genelor care afectează sensul de spiralare al cochiliilor gasteropodelor, căutând mutații. Întrebările la care ea căuta răspunsuri indicau situația reală a studiului asimetriei stânga-dreapta la animale. Ce molecule produse de mamă influențează direcția de spiralare a cochiliilor progeniturilor? Când și unde, în dezvoltarea timpurie a embrionului, intră în joc genele relevante sau produși ai acestora? Cum influențează ele procesele diviziunii celulare care duc la formarea gasteropodului? Există asemănări cu genele care determină asimetrii stânga-dreapta la alte animale?

Există de asemenea și întrebări evoluționiste. Vânătorii de fosile au descoperit modificări pe termen lung ale sensului de spiralare preferat de cochiliile gasteropodelor, care s-ar putea datora fie întâmplării, fie selecției naturale ce favorizează o direcție de spiralare în detrimentul celeilalte, în circumstanțe care variază. „Chiralitatea spiralării pare să se fi schimbat de câteva ori în timpul istoriei evoluției anumitor specii”, a notat Kuroda, „fapt pentru care încă nu s-a găsit o explicație”.

- Pentru detalii despre principiul parității, vezi **ANTIMATERIA**. Pentru mai multe informații despre genetica dezvoltării, vezi **EMBRIONII**. Pentru mai multe informații despre arabidopsis, vezi **ARABIDOPSIS**.

CICLUL CARBONULUI



Cum interacționează acesta cu clima globală?

LAVA ÎNGHETĂTĂ din apropierea vârfului vulcanic Mauna Loa din Hawaii este atât de stearpă și de accidentată, încât astronauții au folosit-o ca loc de antrenament înainte de a ajunge pe Lună. Pe versantul nordic, la 3 400 de metri deasupra nivelului mării, există un observator meteorologic al Administrației Naționale a Océanelor și Atmosferei din Statele Unite, unde oamenii de știință pot lua probe de aer curat adus de alizee de la distanțe de 3 000 de kilometri din largul oceanului. Ferit de poluarea regională și locală, dar și de influența vegetației din apropiere, observatorul este un loc potrivit pentru monitorizarea stării generale a atmosferei planetei.

În 1957, geochimistul Dave Keeling de la UC San Diego a efectuat măsurători ale cantității de dioxid de carbon din aer, la observatorul Mauna Loa. Mostrele prelevate prin intermediul unui tub amplasat în vârful turnului erau direcționate printr-un analizor de gaz în infraroșu care măsura cu foarte mare precizie nivelul dioxidului de carbon. Această operațiune modestă a devenit unul dintre cele mai importante proiecte științifice.

Înainte de sfârșitul secolului, graficul care indica o creștere a nivelului de dioxid de carbon în atmosferă, și care a fost numit curba lui Keeling, i-ar fi îngrozit pe politicieni. Aceasta însemna cheltuirea a zeci de miliarde de dolari în scopul investigării tuturor implicațiilor. De aceea merită menționat faptul că oficialii Statelor Unite au refuzat propunerea tânărului Keeling de a monitoriza dioxidul de carbon în regiunile cu aer curat, pentru câteva mii de dolari pe an.

Încă de când era student la Caltech, Keeling a demonstrat că manualele greșeau susținând variabilitatea cantității de dioxid de carbon din aer de la o regiune la alta. El a descoperit că dacă efectua măsurători precise în timpul după-amiezii, când aerul este cel mai eterogen, rezultatele erau mereu aceleași, aproximativ 315 ppm (părți pe milion) în volum, indiferent de locul măsurătorii – pe plaje, pe culmile munților, în deșerturile din California sau pe o navă de cercetare din apropierea Ecuatorului.

Pentru a începe lucrul la observatorul din Mauna Loa și pentru a demara unele cercetări la Polul Sud, colaboratorii săi au sustras o mică parte din fondurile

alocate din belșug Anului Geofizic Internațional, 1957–1958. Lupta pentru finanțare a continuat timp de 30 de ani. Istoricii vor râde de lipsa datelor din curba lui Keeling pe anul 1964. Aceasta este însă dovada dezinteresului politicienilor și administratorilor, care au considerat unanim că trebuie să pună capăt acestei risipe de dolari federali. Ei nu au luat însă în calcul perseverența lui Keeling.

Principalul său susținător a fost directorul Institutului de Oceanografie Scripps, Roger Revelle, un specialist în geochimie marină preocupat de ciclul carbonului. Apa oceanică conține de 50 de ori mai mult dioxid de carbon decât atmosfera, însă gazul dător de viață trece din ocean în atmosferă printr-un ciclu continuu. Ființele vii, terestre sau marine, încorporează temporar o parte din acest carbon. Cea mai mare parte de carbon de suprafață a fost demult înlăturată, semipermanent, în roci carbonifere și în zăcămintele de cărbuni, de petrol și de gaze.

De la începutul Revoluției Industriale, consumul de carburanți fosili a eliberat în atmosferă o parte din carbonul îngropat în pământ. Un pionier al datării cu carbon radioactiv, Hans Suess de la UC San Diego, a detectat prezența în atmosferă a dioxidului de carbon provenit din carburanții fosili. Absența carbonului radioactiv-14 din acesta făcea ca obiectele recente să pară nefiresc de vechi, în momentul datării lor cu ajutorul carbonului radioactiv rămas.

Cantitatea de dioxid de carbon din atmosferă a crescut probabil în urma combustiei carburantului fosil, însă nu se știa aceasta cu siguranță. În 1957, Revelle și Suess au declarat într-un articol colectiv: „Oamenii desfășoară în prezent un experiment geofizic pe scară largă, care nu ar fi putut avea loc în trecut și nici nu va mai fi posibil în viitor”.

● O creștere implacabilă

În momentul în care Keeling, ca urmare a intervenției lui Revelle, a fost înputernicit să înceapă monitorizarea atentă a dioxidului de carbon din atmosferă, următoarea sa descoperire a fost că întreaga noastră planetă respiră. În fiecare an, între lunile mai și septembrie, dioxidul de carbon scade cu peste un procent. Aceasta se întâmplă deoarece vegetația abundentă din ținuturile nordice și din oceane absoarbe gazul pentru a se dezvolta pe perioada verii.

În timpul iernii nordice, plantele elimină dioxidul de carbon în procesul respirației care le menține în viață, iar vegetația moartă putrezește. Cantitatea de dioxid de carbon din atmosferă crește din nou. Această caracteristică a reciclării carbonului prin sistemele vii ale Terrei este atât de vizibilă în măsurătorile lui Keeling deoarece viața este mai abundentă în nord. Există, de asemenea, diferențe sezoniere în captarea și eliminarea gazului de către apa marină. Asimetria se reflectă printr-o oscilație anuală reprezentată în graficul dioxidului de carbon global, așa cum este el măsurat la Mauna Loa.

Cea de-a treia descoperire a lui Keeling a alarmat oamenii de știință și lumea politică deopotrivă. Linia ondulată prezenta o deviere implacabilă către în sus, pe

măsura trecerii anilor. Nivelul mediu anual al dioxidului de carbon din aer, exprimat în ppm (părți pe milion) în volum, a crescut de la 317 în anul 1960 la 326 în anul 1970 și la 339 în anul 1980. O creștere de 7% în numai 20 de ani, cu o accelerare în a doua decadă, nu constituia un fapt neglijabil. Aceasta evidențiază o continuă schimbare planetară care afectează semnificativ ciclul carbonului.

După ce așteptase în culise o descoperire ca a lui Keeling, și-a făcut apariția ipoteza încălzirii globale și a efectului de seră datorate activității umane. Încă de la începutul secolului, chimistul suedez Svante Arrhenius și succesorii lui și-au dat seama că dacă prin arderea cărbunelui, a petrolului și a gazelor naturale rezultă un surplus de dioxid de carbon în atmosferă, acest fapt va genera un efect de încălzire. Precum pereții de sticlă ai unei sere, acesta va bloca o parte din razele infraroșii care transportă căldura de la Pământ în spațiu.

La Mauna Loa, nivelul mediu anual de dioxid de carbon măsurat de Keeling a atins 354 de părți pe milion în 1990 și 369 de părți pe milion în 2000, aceasta însemnând o creștere de 16% în ultimii 40 de ani. Cei care au atribuit această creștere consumului de carburanți fosili preziseseră o dublare a cantității de dioxid de carbon și un efect de seră înfricoșător. În ultimul deceniu al secolului, curba lui Keeling a fost prioritatea numărul unu a politicilor mediului înconjurător. Liderii tuturor națiunilor au dezbătut dacă, cum, când și cu cât ar trebui să reducă utilizarea combustibililor fosili, în scopul încetării creșterii cantității de dioxid de carbon din aer.

Unii oameni de știință nu se grăbeau să enunțe concluzii definitive în ceea ce privește semnificația și implicațiile acestei creșteri. Keeling a rezumat cunoștințele dobândite până în 1997 despre acest subiect, afirmând că nu era sigur dacă activitățile umane au influențat sau nu clima. „O astfel de decizie asupra cauzelor variațiilor climatice necesită o înțelegere mai profundă, precum și informații mai precise.”

Keeling a evidențiat, de asemenea, faptul că atmosfera reține mai puțin de jumătate din cantitatea de dioxid de carbon din aer provenită în urma activității umane. Restul este absorbit de canale neidentificate. În plus, însăși schimbarea climatică poate afecta ciclul carbonului, influențând astfel cantitatea de dioxid de carbon din aer. „Se cunosc și mai puține informații despre un astfel de mecanism de feedback”, a afirmat Keeling, „decât despre căile de scurgere a carbonului”.

● Bule de aer în gheața polară

Cât dioxid de carbon conținea aerul înainte ca Keeling să înceapă monitorizarea în anul 1957? De la descoperirea gazului în secolul al 18-lea, măsurătorile au fost nesistematice, contradictorii și eronate de cele mai multe ori. Însă în anul 1960 a apărut o nouă modă a forării suprafețelor de gheață din Groenlanda și Antarctica pentru a recupera din straturile adânci gheața formată în urma ninsorilor de acum sute și mii de ani. Fizicianul francez Claude Lorius a detectat bule de aer în straturile de adâncime ale gheții, în Adélie Land, în 1965.

El s-a gândit că acestea ar putea da informații despre compoziția aerului la momentul formării bulelor, în timpul transformării lente a zăpezii în gheață. Acesta a constituit obiectivul pe care Lorius l-a urmărit timp de mulți ani, la Laboratorul de Glaciologie din Grenoble. Ideea a fost rapid preluată și de fizicianul elvețian Hans Oeschger de la Berna.

Deceniile următoare au fost marcate de eforturile eroice ale echipelor din Rusia, Statele Unite și Europa de a recupera tone de gheață din straturile de profunzime din Antarctica și din Groenlanda. Lorius însuși a vizitat de 22 de ori platformele glaciare nordică și sudică. Analizele străvechilor bule de aer realizate de elvețieni și de francezi au condus la rezultate senzaționale.

Ei au raportat inițial că proporțiile de dioxid de carbon și de metan, un alt gaz cu efect de seră, au fost mult mai mici în timpul celei mai recente ere glaciare, comparativ cu prezentul. Cu ajutorul probelor prelevate de la Vostok, Antarctica, de către echipa sovietică, Lorius și colegii săi au obținut informații despre o perioadă interglaciară mai caldă, în care nivelul dioxidului de carbon era ridicat, însă nu atât de ridicat ca în prezent. Într-o perioadă glaciară premergătoare acestei perioade mai calde, nivelul dioxidului de carbon era din nou scăzut. Nivelurile dioxidului de carbon și temperaturile dominante păreau a fi corelate într-un mod semnificativ.

Echipa lui Oeschger a investigat în mod special gheața de acum aproximativ 10 000 de ani și până când s-a încheiat era glaciară. Ei au raportat că dioxidul de carbon s-a menținut la un nivel aproape stabil în toată această perioadă de timp, de aproximativ 270 de părți pe milion. Abia în jurul anului 1800 d.C. a început să crească, iar până la jumătatea secolului al 20-lea nivelurile abrupt crescând ale dioxidului de carbon s-au suprapus cu acuratețe cu partea de început a curbei lui Keeling.

Pentru a realiza această suprapunere, oamenii de știință au presupus că aerul din bule avea o vechime mai mare decât gheața care îl ținuse închis, cu 80 de ani sau chiar mai mult. Aceasta ar reprezenta perioada depunerii de zăpadă, timp în care bulele de aer ar fi fost etanșate. Acest argument a fost acceptat ca o ajustare practică. Graficul rezultat, care a combinat cercetările straturilor de gheață de mare adâncime cu măsurătorile de la Mauna Loa, a devenit diagrama favorită a Comitetului Interguvernamental pentru Schimbarea Climei, atunci când s-a dat alarma referitor la încălzirea globală.

Această diagramă a indicat că dioxidul de carbon din aer variază foarte puțin, apoi crește la un nivel fără precedent după anul 1800. Până în secolul al 20-lea nu a atins niciodată valoarea de 300 de părți pe milion. În 2002 Lorius a afirmat: „Nivelurile gazelor cu efect de seră din prezent au atins cote fără precedent, mai ridicate decât în orice măsurători de sute de mii de ani, și aceasta se datorează în mod direct influenței omului asupra atmosferei”.

Totuși, cei care au combătut acuratețea datelor obținute din studiul aerului din interiorul gheții au considerat că graficul din perioada cuprinsă între sfârșitul erei

glaciare și începutul Revoluției Industriale era prea plat pentru a fi corect. În loc să înregistreze cu precizie nivelurile dioxidului de carbon, bulele ar fi putut înregistra unele reacții fizico-chimice dintre gaz și gheață.

„Dioxidul de carbon este solubil în gheață”, a observat Alexander Wilson de la Universitatea Arizona. „Pe măsura ce coborâm spre nucleul de gheață, timpul și presiunea cresc și aceasta conduce la o pierdere semnificativă a dioxidului de carbon din gheață.” Însă cea mai mare provocare pentru rezultatele obținute din măsurătorile în gheață a constituit-o apariția unei metode complet diferite de măsurare a nivelurilor dioxidului de carbon din epocile trecute.

● Frunzele lui Big Betty

În jurul anului 1948, un mestecăn s-a dezvoltat solitar pe culmea unui mic pat de turbă abandonat dintr-o rezervație naturală aflată la 30 de kilometri est de orașul olandez Eindhoven. Acesta era destul de tânăr pe când, în cealaltă parte a lumii, Dave Keeling își începuse cercetările la Mauna Loa. În anii 1990 acesta devenise un copac foarte mare, în stilul speciilor *Betula*. Oamenii de știință de la Laboratorul de Paleobotanică și Paleontologie din Utrecht care l-au studiat îndeaproape l-au botezat Big Betty.

În fiecare toamnă Big Betty așternea un covor nou de frunze în mlaștină. Frunzele din anul 1990 se diferențiau de cele din tinerețea copacului, dezgropate de oamenii de știință. Pe măsură ce cantitatea de dioxid de carbon din aer a crescut în timpul vieții copacului, Big Betty și-a redus numărul porilor respiratori, adică stomatele, din frunzele sale.

Ca multe alte plante, mestecenii administrează în mod inteligent dioxidul de carbon. Aceștia au nevoie de stomate pentru a asimila suficient dioxid de carbon în scopul dezvoltării, însă prin acești pori elimină, de asemenea, vaporii de apă. Astfel, aceștia își pot conserva apa în cazul în care reușesc să supraviețuiască cu un număr redus de pori într-o atmosferă bogată în dioxid de carbon. Botaniștii sunt familiarizați cu adaptarea frunzelor, fapt evident în serele cu un nivel ridicat artificial de dioxid de carbon.

Între anii 1952 și 1995, frunzele lui Big Betty au indicat o scădere de la 10 la 7 a indexului stomatal, care măsoară numărul porilor. Frunzele bătrânului mestecăn de la începutul secolului, conservate într-un ierbar la Utrecht, aveau un număr mai mare de stomate decât frunzele lui Big Betty de la mijlocul secolului, în concordanță cu ipoteza conform căreia nivelul dioxidului de carbon era mai scăzut pe atunci. Dezvoltându-se în singurătate și neamestecându-și resturile vegetale cu alte surse, Big Betty a oferit o șansă unică de a calibra frunzele de mestecăn ca pe niște mașini ale timpului care raportează nivelurile anterioare de dioxid de carbon.

Pe drumul spre Amsterdam, un paleoecologist pe numele său Bas van Geel colectase fosile de frunze de mestecăn prelevate de pe turba unui sit arheologic

de la Bochert, în nord-estul Olandei. Acestea datau dintr-o perioadă cu climat fluctuant, imediat următoare ultimei ere glaciare. Când Friederike Wagner, o masterandă germană de la Utrecht, a examinat frunzele, ea a detectat o modificare a nivelului de dioxid de carbon atmosferic prin variația indexului stomatal între 13 („aproape fără suflare”) și 8 („din plin, mulțumesc”). În momentul apogeului, în perioada străveche investigată, frunzele de mesteacăn nu și-au dezvoltat un număr mai mare de stomate decât Big Betty.

În 1999, Wagner și colegii săi au declarat că într-o perioadă caldă, în urmă cu aproximativ 9 500 de ani, nivelul dioxidului de carbon preluat de frunzele de mesteacăn era de aproximativ 350 de părți pe milion – în concordanță cu rezultatele de la Mauna Loa din 1987, și mult mai ridicat de 260 de părți pe milion, cum indica cercetarea nivelului de dioxid de carbon din straturile adânci de gheață. În plus, frunzele de mesteacăn au indicat o creștere a nivelului de dioxid de carbon de 65 de părți pe milion în mai puțin de un secol de la perioada rece anterioară. Acest fapt este comparabil cu rata creșterii înregistrată în secolul al 20-lea la Mauna Loa.

Ce nerușinare! Dacă Big Betty și fosilele frunzelor de mesteacăn spun adevărul despre nivelurile ridicate de dioxid de carbon din trecut și despre schimbările rapide, atunci rapoartele nivelului de dioxid de carbon din nucleul de gheață erau în întregime eronate. Nivelurile dioxidului de carbon s-au modificat semnificativ din cauze naturale, într-o perioadă în care nu existau mulți oameni, iar cei existenți erau vânători-culegători. Nici chiar fermierii din Ierihonul neolitic nu dețineau mine de cărbuni sau terenuri petrolifere.

„Trebuie să reflectăm din nou la cauzele modificărilor nivelului dioxidului de carbon”, a comentat Wagner, „și la legăturile acestora cu schimbarea climei Pământului”. Cercetătorii nivelului dioxidului de carbon prin metoda gheții au reacționat la această afirmație-bombă susținând că cele mai recente rezultate de la Taylor Dome din Antarctica nu indicau creșteri de nivel ca urmare a erei glaciare, acestea constituind totodată „cea mai precisă și mai sigură metodă de reconstrucție a nivelului de dioxid de carbon atmosferic”.

Comitetul Interguvernamental pentru Schimbarea Climatică își stabilise deja ipoteza favorită. În raportul științific din 2001 era lăudată excelenta compatibilitate între diferitele cercetări ale nivelului de dioxid de carbon din nucleul de gheață din Antarctica. Acesta a respins totodată rezultatele indexului stomatal ale lui Wagner ca fiind „complet incompatibile cu datele cercetărilor pe straturile adânci de gheață.”

● Dioxid de carbon versus schimbarea climatică

La acel moment, descoperirea unei gene responsabile cu controlul numărului porilor din frunze consolidase botanica. Alistair Hetherington de la Lancaster împreună cu echipa sa o descoperise în planta *Arabidopsis thaliana*. Ei au denumit-o HIC de la „high carbon dioxide (nivel ridicat de dioxid de carbon)”.

Mutanții cărora le lipsește această genă prezintă un număr ridicat de stomate, astfel că sistemul de reglare reduce numărul acestora atunci când o cantitate neașteptat de mare de dioxid de carbon o impune.

Friederike Wagner făcuse deja echipă cu cercetătorul danez Bent Aaby, în vederea extinderii reconstituirii nivelurilor dioxidului de carbon la întreaga perioadă care a urmat ultimei ere glaciare. Un tezaur la fel de valoros de frunze de mesteacăn există în albia lui Lille Gribso, un mic lac dintr-un parc regal din nordul Copenhagăi. Cu ajutorul frunzelor de pe fundul lacului, Wagner și Aaby au reconfirmat mai întâi variațiile de acum aproximativ 9 500 de ani, observate la fosilele frunzelor olandeze. Ei și-au continuat cercetările acoperind întreaga perioadă din acel moment până în prezent. Aceste informații l-au determinat pe Henk Visscher, conducătorul paleobotaniștilor de la Utrecht, să susțină la o conferință din anul 1999 că cea mai recentă scădere a nivelului de dioxid de carbon a fost înregistrată în Mica Eră Glaciară, în urmă cu 300 de ani.

În 2002 Wagner, Aaby și Visscher au raportat în detaliu informații despre o scădere a nivelului de dioxid de carbon și mai veche, rezultată din cercetarea frunzelor de mesteacăn de la Lille Gribso, în timpul unui eveniment de răcire major, în urmă cu 8 300 de ani. După o creștere mai mare de 300 de părți pe milion, acum 8 600 de ani, nivelul dioxidului de carbon a scăzut sub 280 în perioada cuprinsă între 8 400 și 8 100 de ani în urmă. Trei secole mai târziu acesta a crescut din nou la 326 de părți pe milion. În tot acest timp, rezultatele cercetărilor asupra gheții de la Taylor Dome au indicat variații de o zecime față de cele măsurate cu ajutorul frunzelor. Partenerii din Utrecht și din Copenhaga au sugerat faptul că apa rece din Atlanticul de Nord ar absorbi diferența de 25 de părți pe milion din dioxidul de carbon care a dispărut în urmă cu 8 300 de ani.

Aceasta poate părea doar o adnotare tehnică insignifiantă, însă dacă este corectă, implicațiile sunt considerabile. Unii critici ai scenariului standard al încălzirii globale au susținut multă vreme că abundența dioxidului de carbon din aer tinde mai degrabă să urmeze schimbării climatice decât să o determine. Faptul binecunoscut că gazul este mai puțin solubil în apă caldă decât în apă rece sugerează posibilitatea unei modificări în ciclul carbonului, astfel încât această ipoteză ar putea fi viabilă. În acest sens, s-a invocat scăderea nivelului apei reci pentru a explica coborârea nivelului de dioxid de carbon de acum 8 300 de ani.

Dar atunci de ce s-a răcit Atlanticul de Nord? Un întreg capitol din istoria climatică se referă la cauza acelei răciri, precum și a altor fenomene similare, denumite fenomene glaciare. Cauzele lor au fost îndelung dezbătute. Dave Keeling a sugerat implicarea schimbărilor mareelor lunare, în timp ce Gerard Bond de la Columbia și colegii săi au asociat fenomenele glaciare cu scăderea activității magnetice a Soarelui. În orice caz, acestea au reprezentat fenomene naturale care au determinat schimbările de nivel ale dioxidului de carbon și în niciun caz nu au fost generate de acestea.

Rezultatele lui Wagner în ceea ce privește nivelurile dioxidului de carbon nu s-au bucurat de atenția presei și nici de cea a celor mai importanți teoreticieni ai încălzirii generatoare de efecte de seră. Totuși, acestea au demonstrat că dilema feedback-ului dintre ciclul carbonului și climă, remarcată de Keeling, a rămas complet nerezolvată la începutul secolului al 21-lea.

Există o strânsă legătură între dioxidul de carbon și climă, însă care dintre cele două este factorul determinant? Este încălzirea globală determinată de surplusul de dioxid de carbon? Sau încălzirea generată de cauze diferite determină un surplus de dioxid de carbon atmosferic? Sau ambele fenomene sunt adevărate, astfel încât dioxidul de carbon amplifică variațiile climatice naturale? Atât timp cât aceste probleme vor rămâne nesoluționate, așa cum observa și Keeling, nu există nicio modalitate de a stabili cu certitudine în ce măsură activitatea umană a avut o influență asupra climei până acum, sau va avea în viitor.

- Pentru mai multe informații despre legătura dintre variațiile anuale ale dioxidului de carbon și dezvoltarea plantelor, vezi **BIOSFERA DIN SPAȚIU**. Vezi de asemenea **FENOMENE GLACIARE** și **SISTEMUL PĂMÂNTULUI**.

CICLUL CELULAR

Cum și când se divide o entitate vie?

PRINCIPALA PROBLEMĂ a celulelor cancerigene este că se divid când nu este cazul”, a afirmat biologul celular Ted Weinert de la Universitatea Arizona, din Tucson. „Fără aceste descoperiri, cercetarea cancerului s-ar fi aflat încă în perioada Evului Mediu”. El s-a referit la succesele înregistrate în Statele Unite și în Marea Britanie spre sfârșitul anilor 1960, care au permis biologilor moleculari să dezvolte mecanisme naturale de control al diviziunii celulare. Una dintre implicații a fost faptul că medicii ar putea încerca să stopeze avansarea sau chiar să inverseze modificările care produc o celulă canceroasă.

Aceste cercetări au generat o înțelegere remarcabilă a celor mai importante calități ale unei entități vii – capacitatea de a se divide și de a se înmulți. O mică rezervă de simț al miraculosului e necesară în acest caz. Dacă ați vedea un oraș condus în întregime de roboți, pentru roboți, și care ar putea crea oricând un alt

oraș de roboți similar, aceasta nu vi s-ar părea mai uimitor decât ceea ce se petrece atunci când o celulă din corpul vostru se divide.

Patruzeci de celule umane tipice dispuse una lângă alta ar măsura un milimetru. Miliarde dintre ele se regenerează zilnic în corpul vostru, prin diviziune celulară. Acest fenomen se poate declanșa atunci când moleculele hormonale se atașează pereților exteriori ai unei celule, anunțând momentul potrivit pentru diviziunea celulară.

Urmează transformări semnificative. Celula se mărește, pregătindu-se pentru ceea ce urmează. În nucleul celular, genele creează rapid un duplicat al lanțurilor de ADN în care sunt scrise. Apoi cele două seturi de copii se înfășoară strâns în pachetele numite cromozomi, cu două versiuni din fiecare cromozom în ambele seturi.

Fibre lungi și subțiri denumite microtubuli, formate din grupuri de molecule proteice intersectează celulele ca niște traverse. Ele formează o rețea de traiectorii care deplasează și poziționează diferite componente interne, menținându-le pe loc. În timpul diviziunii celulare, microtubulii se rearanjează pentru a forma fascicule de fibre. Acestea deplasează și sortează cromozomii în două grupări identice conținute în nucleeele celor două celule-fiice.

Componentele interne – producătorii proteici, alimentatorii, sistemul de transport sau alți factori esențiali – sunt, de asemenea, împărțite egal. Apoi, celula se divide în două celule. Celulele fiice pot opri procesul la acest nivel, însă sunt pregătite să îl reia în caz de nevoie. În celulele normale ale mamiferelor, întregul ciclu durează aproximativ o zi.

Celulele s-au dezvoltat astfel timp de două miliarde de ani, încă de la apariția primelor celule eucariote cu nucleu și cromozomi printre străvechile bacterii, care se divizau într-un mod mult mai rudimentar. Aceste eucariote primitive au dat naștere mai târziu unor organisme mai complexe, incluzând plantele și animalele, însă multe dintre acestea s-au menținut până astăzi ca organisme unicelulare. Mucegaiul și drojdia sunt cele mai cunoscute astfel de exemple.

În afara ciclului celular obișnuit pe care l-am descris, în care diviziunea nucleară, denumită mitoză, asigură fiecărui nucleu-fiică un set complet de cromozomi, mai există o variantă denumită meioză care asigură celulelor spermatice sau ovulelor doar o jumătate din setul normal de cromozomi. În timpul reproducerii sexuate, spermatozoizii și ovulul se întâlnesc și își combină cromozomii, întregul set fiind astfel refăcut.

● Un factor declanșator și un factor de control

Moleculele care forfotesc într-o celulă desfășoară activități atât de variate și elaborate, încât cea mai mare bibliotecă de cărți de specialitate și reviste științifice ar putea oferi doar descrieri fragmentare, superficiale ale acestora. Orice eroare

În desfășurarea acestor activități ar putea cauza îmbolnăvire sau moarte. Moleculele nu au doctorate și nici nu pot citi manuale de știință. Ele sunt doar niște compuși de carbon inocenți – stringuri ale unor atomi lipsiți de rațiune, alcătuiți din quarci și din electroni.

Cu toate acestea fiecare moleculă își cunoaște, într-o anumită măsură, traseul și activitatea și operează cu o precizie și cu o ingeniozitate pe care chimiștii le invidiază. Sistemul funcționează deoarece moleculele își monitorizează și își reglează reciproc activitatea. Este simplu să ne gândim că genele ar deține controlul, însă și acestea reacționează la semnalele moleculare care le activează sau le dezactivează.

În ultimele etape ale cercetării ciclului celular, specialiștii în biologie celulară au utilizat tehnicile biologiei moleculare moderne, biochimiei și geneticii pentru a urmări mecanismele de control operând la nivel molecular. Deși un sprijin considerabil a fost oferit de observațiile medicale, principalele descoperiri s-au realizat în urma experiențelor pe animale și pe drojdie.

Pe vremea când era doar un băiețel în orașul natal Kyoto, Yoshio Masui colecționa broaște. Îi plăcea să le observe bătaile inimii. În anul 1966, pe când făcea deja studii postdoctorale la Yale, el a încercat să cloneze ouă de broască nefertilizate, determinându-le să se maturizeze și să se dividă. Prin acest experiment el a descoperit primul declanșator al diviziunii celulare, denumit FPM, factorul de promovare a maturizării.

Generațiile anterioare de biologi se obișnuiseră să lucreze cu „factori”, cum ar fi vitaminele sau factori de creștere cu efecte cunoscute, dar cu efecte chimice necunoscute. Masui a realizat această descoperire într-o nouă epocă, în care o astfel de ambiguitate era considerată nesatisfăcătoare. El s-a hotărât să nu urmeze biologia moleculară, ci să continue să studieze, la Toronto, ceea ce el numea ecologie celulară. El a afirmat: „Le spun oamenilor că soluționez mintal probleme, dar soluția mea devine problema lor”. Factorul FPM al lui Masui nu a fost investigat din punct de vedere chimic timp de aproape două decenii.

Între timp, în Seattle, la Universitatea din Washington, Lee Hartwell studia genetica drojdiei de bere, *Saccharomyces cerevisiae*. Deși drojdia este una dintre cele mai simple eucariote, un simplu organism unicelular, ea utilizează întregul sistem de diviziune celulară pentru a se înmulți. Hartwell nu și-a dat seama că ar putea dezvălui mecanismul prin care genele controlează procesul până în momentul în care a descoperit o mutație ciudată care a deformat celulele de drojdie. Acestea nu reușeau să încheie procesul diviziunii celulare.

Utilizând radiații în vederea producerii de gene mutante, a constatat că drojdia încerca să reziste acestei intervenții. Când a fost afectat materialul genetic, ciclul celular s-a întrerupt în timp ce celula reconstruia ADN-ul, înainte de a trece la faza următoare. Hartwell a denumit această întrerupere punct de control. S-a dovedit că sunt implicați factorii de control care asigură desfășurarea procesului

în condiții bune. La începutul anilor 1970, laboratorul lui Hartwell identificase peste 100 de gene implicate în organizarea ciclului celular; gena a 28-a era inițiatora duplicării materialului genetic celular, motiv pentru care a fost denumită „start” (început).

● „Evrika! – un moment iluminator”

Câțiva ani mai târziu, Paul Nurse din Edinburgh a realizat experimente similare asupra drojdiei fisipare, *Schizosaccharomyces pombe*. El a identificat gene mutante neobișnuit de mici din cauza divizării lor înainte de maturizarea celulei-mamă. Pentru că acestea s-au petrecut în Scoția, mutația a fost numită inițial *wee2*, însă mai târziu a primit denumirea de *cdc2*. Rolul genei afectate era de a iniția separarea cromozomilor duplicați în seturile necesare celulelor-fiice.

În anul 1982, un alt om de știință britanic, Tim Hunt, a petrecut o vară la laboratorul de biologie marină din Woods Hole, Massachusetts, efectuând experimente pe ovule fertilizate de arici de mare. El a detectat prezența unei anumite proteine cu 10 minute înainte de începerea procesului de diviziune celulară. Apoi proteina dispărea, reapărând în interiorul celulelor-fiice, dispărând din nou în momentul începerii procesului de diviziune celulară al acestora. Hunt a denumit această proteină ciclină.

Când au pus lucrurile cap la cap, oamenii de știință și-au dat seama că au descoperit o adevărată comoară a Mamei Natura. Gena mutantă *cdc2* a lui Nurse s-a dovedit a fi aproape identică cu gena *start* a lui Hartwell, având aceeași funcție generală de reglare a diferitelor etape ale ciclului celular. Gena comanda producerea unei proteine – o enzimă numită kinază.

Rolul ciclonei lui Hunt era de a regla acțiunea unor asemenea kinaze. Care a fost molecula compusă formată în momentul asocierii celor două tipuri de molecule? FPM – factorul de promovare a maturizării, descoperit de Yoshio Masui în ovulele de broască cu peste zece ani mai devreme. Astfel, domeniul descoperirilor genetice detaliate s-a extins de la drojdie și arici de mare la animalele vertebrate. În anul 1987, Nurse a descoperit în celulele umane atât gena, cât și kinaza corespunzătoare genei *cdc2*.

„Asta înseamnă că aceeași genă controlează atât diviziunea celulară a drojdiei, cel mai simplu organism, cât și a ființelor umane, cele mai complicate organisme”, a afirmat Nurse mai târziu. „Cu alte cuvinte, toate organismele sunt controlate în același mod. Acesta a fost un moment cu adevărat iluminator. Evrika!”

● Motoarele moleculare

La sfârșitul secolului al 20-lea s-au descoperit și alte gene umane importante precum și diferite kinaze și ciclone. Cei care cercetau cancerul încercau să aplice aceste cunoștințe pentru a detecta și a corecta pierderea controlului diviziunii

celulare, care apare în cazul tumorilor. În biologia generală, marile descoperiri nu sunt puse la îndoială, deoarece cunoștințele despre diviziunea celulară converg cu alte descoperiri, inclusiv autodistrugerea celulei, în vederea unei înțelegeri totale a modalității prin care cooperează celulele în dezvoltarea plantelor și a animalelor. Pentru elucidarea acestui mozaic complicat de gene și proteine vor fi necesari mulți ani de experimente și teorie.

Între timp, mecanismul diviziunii celulare devine din ce în ce mai clar. Mașinării moleculare denumite fusuri de diviziune separă seturile duble de cromozomi. Ele utilizează fascicule de microtubuli asemănători fibrelor pentru a detecta cromozomii corespunzători, extrăgându-i după cum a mai fost menționat și plasându-i în ceea ce va deveni nucleul celulelor-fiice.

Microtubulii se assemblează și se dezasamblează din molecule proteice componente, mărimdu-și și reducându-și dimensiunea. Motoarele moleculare interconectează microtubulii în fascicule și îi fac să gliseze unul pe lângă celălalt. În acest mod acestea adaptează lungimea fasciculelor în funcție de necesități, într-o manieră telescopică.

Creșterea și reducerea în dimensiuni a fiecărui microtubul, precum și glisarea acționată prin motor a microtubulilor reticulați generează forțele care deplasează și poziționează cromozomii. Motoarele individuale funcționează antagonic, unele încercând să crească, altele să micșoreze lungimea fasciculelor. Astfel, ele acționează ca agenți de frânare reciprocă.

„Fusul de diviziune reprezintă o mașină proteică de mare precizie înzestrată cu control al calității, care monitorizează în mod constant performanțele sale mecanice”, a spus Jonathan Scholey de la UC Davis. „Acest fapt asigură distribuția cu precizie a genelor și minimizează șansele unor eventuale erori cu efecte devastatoare, cum ar fi cancerul sau defectele congenitale. Este un sistem complex și foarte inteligent”.

- Pentru informații conexe din domeniul biologiei celulare, vezi **MOARTEA CELULEI, TRAFICUL CELULAR și EMBRIONII**.



CLONAREA

De ce procrearea fără sex ne amenință sănătatea

PUNSTERS A NUMIT-O O „ALTĂ”¹ METODĂ de a face miei. În anul 1996, la Institutul Roslin, situat în mijlocul fermelor adăpostite de dealurile Pentland de lângă Edinburgh, Ian Wilmut și colegii săi au folosit o celulă din ugerul unei oi adulte pentru a o crea pe Dolly, cea mai faimoasă oaie din lume.

Cercetătorii au adormit celulele colectate din uger înfometându-le, apoi le-au luat genele pe care le-au înlocuit cu gene din nucleeele ovulelor altor oi. Când genele s-au trezit în noul mediu, au crezut că se află în ovule fertilizate recent. Mai exact, gelatina din ovule, ajutată fără îndoială de tehnicile de cultură experimentală, a reactivat multe dintre genele care fuseseră dezactivate în țesutul ugerului.

Toate genele au început apoi să formeze embrioni. Unul dintre ovulele manipulate, reintrodus într-o oaie, s-a dezvoltat într-un miel. Era o clonă, practic o copie identică a posesoarei ugerului. Cine ar mai avea acum nevoie de berbeci?

Din punct de vedere tehnic, cercetătorii de la Edinburgh au realizat pe un mamifer ceea ce John Gurdon a experimentat pe broaște, la Oxford, încă din anul 1962, folosind celule intestinale de mormoloci. El a fost primul care a arătat că materialul genetic din celulele specializate produs în timpul dezvoltării embrionului poate reveni la un stadiu general nediferențiat. Se pune problema reajustării ceasului biologic al embrionului la etapa imediat următoare fertilizării.

Știrea despre prima oaie clonată, Dolly, a ținut prima pagină a ziarelor în februarie 1997 și a provocat un scandal fără precedent în biologie, printre jurnaliști, politicieni și clerici de toate religiile. Interesul general l-a depășit pe cel provocat cu 40 de ani în urmă de lansarea primului satelit artificial, Sputnik-1. În 24 de ore de la apariția știrii, cercetătorii de la Roslin și partenerii lor de la PPL Therapeutics s-au simțit obligați să dea o declarație: „Nu acceptăm folosirea acestei tehnici pentru clonarea umană. Ar fi lipsit de etică.”

¹ Joc de cuvinte intraductibil din limba engleză: *udder way* se pronunță aproximativ la fel ca *other way*, prima expresie însemnând „calea (metoda) ugerului”, iar cea de a doua „o altă cale (metodă)”.

Și, de asemenea, ar fi un experiment hazardat. Astfel de experimente pe animale erau mai mereu nereușite. Prima revendicare oficială a clonării unui embrion uman a venit din partea Companiei Advanced Cell Technology, din Massachusetts, în 2001. Wilmot de la Institutul Roslin nu a fost impresionat: „Este doar un prim pas preliminar, deoarece embrionul dezvoltat astfel a avut șase celule, în vreme ce ar fi trebuit să aibă peste două sute”, a spus el. „Și oricum, a murit deja.”

Cu toate acestea, secolul al 21-lea a deschis o lume în care femeile puteau deja face sex fără a procrea, sau în care puteau crește copii creați în eprubetă, fără niciun raport sexual. Se vor putea vreodată produce copii clonați identici genetic cu părinții sau cu alți adulți? Cine știe dacă oamenii legii și comisiile de etică vor da dovadă de mai multă înțelepciune decât indivizii și familiile lor, evaluând avantajele și dezavantajele unei astfel de reproducere?

Dar clonarea se practică în întreaga biosferă. Răspunsul la o întrebare științifică simplă poate genera comentarii în legătură cu oportunitatea ei. De ce atât noi cât și majoritatea animalelor depindem de sex pentru a da naștere unei noi generații?

● O metodă dificilă de reproducere

Broasca clonată a lui Gurdon și oaia clonată a lui Wilmot au dat înapoi ceasul evoluției cu miliarde de ani, în perioada când pe Pământ trăiau doar microbi. Aceștia nu aveau altă opțiune decât clonarea. Chiar și acum, celulele din organismul nostru sunt clone obținute prin divizarea repetată a ovulului fertilizat din care ne-am format. Dar celulele dumneavoastră sunt mult mai complexe decât ale unei bacterii, având mult mai multe gene. Mecanismul de duplicare a celulelor și de asigurare ca fiecare celulă-fiică să primească un set complet de gene este un proces destul de complicat.

Organismele unicelulare cum ar fi drojdiile au fost primele care au folosit acest aparat modern, iar unele chiar au mers până la a inventa sexul. Mașinăria este un adaos la organizarea deja complicată a genelor și a celulelor. Ea trebuie să producă celule germinative, precursorii ovulelor și ai spermatozoizilor. Acestea posedă doar jumătate din numărul de gene, iar crearea unui nou individ depinde de combinația ovulului cu spermatozoidul, pentru a reface întregul set de gene. Pentru ca din acest proces să nu rezulte o încurcătură de neînțeles, alocarea genelor fiecărei celule germinative trebuie să fie extrem de precisă.

Sexul dă rezultate la nivel genetic doar dacă genele sunt ca două pachete de cărți. Ele trebuie separate cu grijă atunci când este momentul să dea naștere celulelor germinative, astfel încât fiecare să ia un pachet întreg, și să nu se trezească cu șapte valeți și niciun nouar. De aceea genele noastre sunt duplicate cu un set de la mamă și unul de la tată. Aparatul copiază cele două pachete existente din celulele potențialului părinte, pentru a face patru în total, apoi distribuie câte un pachet fiecăruia dintre cele patru celule germinative.

Viața a fost exclusiv feminină până în acest moment al evoluției. Dacă ar fi rămas așa, chiar și divizarea genelor în celule germinative nu ar fi exclus autofertilizarea.

Reversia la clonare ar fi prea simplă. Pentru a asigura sexul cu un alt individ, fertilizarea trebuia să devină destul de greu de realizat.

De dragul neobișnuitului, a apărut genul masculin. Astfel, se pot genera două tipuri de celule germinative, ovule și spermatozoizi, iar datorită genelor distinctive, masculii pot fi determinați să producă doar spermatozoizi. Anumite părți ale mecanismului celular, care au gene proprii, trebuie să devină celule germinative feminine sau masculine, dar nu ambele. Prin comparație cu această inginerie genetică secretă a microbilor preistorici, ar fi o joacă de copil să transformăm reptile în dinozauri sau mamifere în balene.

Celulele germinative trebuie să se maturizeze în ovule și spermatozoizi viabili. Aceștia trebuie răspândiți și aduși laolaltă. Când vorbim despre animale, vorbim despre structuri cum ar fi trompele uterine și penisurile, excitanți moleculari ca testosteronul, și facilitatori comportamentali ca de exemplu coada de păun și barurile de burlaci.

Sexul este o nebunie. Este ca și cum un fabricant ar construi partea din față a unei biciclete într-un oraș și partea din spate în altul. Constructorul trimite cele două schimburi de noapte în toate direcțiile, călătorind pe părțile separate ale bicicletei pe post de monocicluri, în speranța că măcar unii dintre ei se vor întâlni în lumina lunii la marginea drumului și vor reuși să assembleze măcar o bicicletă, două. Aldous Huxley nu a exagerat din punct de vedere conceptual (poate doar numeric, dar sub licență poetică), când a scris:

Un milion de milioane de spermatozoizi

Cu toții vii:

Din cataclismul lor doar un biet Noe

Îndrăznește să spere că va supraviețui.

Chiar și în cazul plantelor și animalelor complet dotate pentru sex, opțiunea de a trece la nașteri virgine prin autofertilizare rămâne deschisă. Clonarea se practică în cazul plantelor și al insectelor. Bulbii de lalea nu sunt semințe; ei sunt pachete de țesut de la un părinte care va genera alte lalele genetic identice cu el însuși. Afidele care ne infestază trandafirii sunt copii genetice ale mamei lor. Majoritatea clonatorilor mai recurg la sex din când în când, cu excepția șopârlei americane cu coada în formă de bici, *Cnemidophorus uniparens*, care este o specie formată dintr-un grup de femele genetic identice.

● De ce atâta bătaie de cap?

Viața fără masculi este mai simplă, așa că de ce nu s-a renunțat la ei mai demult? Evoluția înseamnă, în termeni generali, supraviețuirea genelor, dar prin crearea unui ovul, mama se lipsește de jumătate din gene. Jocul împerecherii este costisitor din punct de vedere al energiei și al timpului, fără a mai menționa pericolul reprezentat de prădători și paraziți în timpul procesului, sau competiția ofensivodefensivă pentru a găsi o pereche.

„Mi-am petrecut cea mai mare parte a ultimilor 20 de ani gândindu-mă la acest aspect”, mărturisea în 1998 John Maynard Smith de la Sussex, referindu-se la misterul reprezentat de sex pentru teoreticienii evoluționiști. „Nu sunt sigur că acum cunosc răspunsul.”

Încercând să ofere o explicație, Maynard Smith și-a imaginat o linie descendentă de heringi clonați. Pe termen scurt, credea el, aceștia vor întrece alți heringi pe care probabil îi vor conduce apoi spre extincție. Pe termen lung însă, heringii clonați vor dispărea, deoarece evoluția unor pești identici genetic nu ar avea niciun rost.

Evoluția se bazează pe diferențele dintre indivizi, care la nivel genetic depind de existența unor versiuni alternative ale acelorași gene disponibile la populația care se înmulțește. Aceste alternative sunt exact ceea ce îi lipsește unei clone, așa că în cursa evoluționistă aceasta va rămâne în urmă. Majoritatea biologilor presupun că speciile sunt într-o continuă evoluție – alergând din greu, precum Regina de Cupă a lui Lewis Carroll, pentru a rămâne în același loc, fiind în competiție cu alte specii. Dacă este așa, speciile fără reproducere sexuată vor fi în pierdere.

Modelul „motorul-și-cutia-de-viteze” este numele pe care Maynard Smith l-a dat unui alt posibil motiv pentru care sexul a supraviețuit un miliard de ani. Din două mașini uzate, dintre care una are motorul stricat și cealaltă cutia de viteze nefuncțională, se poate face o mașină care să meargă, combinând piesele funcționale. În reproducerea sexuată, genele sunt amestecate și distribuite fiecărui individ într-o combinație care nu a mai fost încercată înainte. Există șanse mult mai mari de a realiza combinații favorabile decât în cazul unei clone.

În această direcție, un experiment asupra evoluției artificiale a *Drosophilei* realizat de către William Rice și Adam Chippindale de la UC Santa Barbara a demonstrat că sexul ajută la păstrarea genelor bune și la îndepărtarea celor rele. Ei au prezis că o nouă genă bună se va stabili mult mai trainic prin reproducere sexuală decât prin clonare. Despre acest efect a fost vorba când ei au susținut că ochii roșii reprezintă o mutație favorabilă.

Cercetătorii de la Santa Barbara au mărit cu 10% proporția de *Drosophile* cu ochi roșii folosite pentru crearea de noi generații. La muștele care se reproduc sexual, ochii roșii au devenit din ce în ce mai comuni, de la generație la generație. Când muștele au fost păcălite să crească clone, ochii roșii au devenit uneori foarte comuni, dar dispăreau mai des, probabil deoarece erau asociați cu prezența unor gene rele.

● Sex contra boală

Pentru William Hamilton de la Oxford îndepărtarea genelor rele era doar un bonus, insuficient pentru a explica supraviețuirea reproducerii sexuate la atâtea specii. A devenit chiar obsedat de acest mister la începutul anilor 1980, după o perioadă frumoasă care anunța venirea primăverii, în Michigan. Mai târziu și-a amintit cum încerca să descifreze această problemă, într-o bibliotecă a muzeului de la Oxford.

„Cireșarii cântau pentru mine, umflându-și penele strălucitoare în pomii înzăpeziți; mătăsari cu pene rubinii își împrăștiau diareea încărcată de spori și de germeni, în mintea mea, așa cum îi văzusem și în realitate, iarna trecută, îmbibând cu purpuriul acesteia zăpada veche de sub arbuștii purgativi de crușin, încărcăți cu fructe. Cărți, oseminte și păsări de tot felul se năpusteau din toate părțile.”

Matematica și gândirea abstractă ce reiese din cugetările lui Hamilton erau mult mai austere. El a demonstrat de ce boala este forța motoare evoluționistă ce face ca sexul să fie avantajos în primul rând și să continue să existe. Fără întreaga variabilitate genetică existentă în cadrul unei populații sexuate, clonele sunt mult mai vulnerabile la agenții patogeni și la paraziți.

O specie sexuată clocotește de ceea ce Hamilton a numit polimorfism dinamic, adică o combinație nesfârșită de forme variate ale aceleiași gene. Confruntat cu o serie nelimitată de pericole vechi și noi, de la agenți patogeni până la paraziți, niciun individ nu poate avea toate genele care să-i confere rezistență moleculară la toate. O specie are mai multe șanse de supraviețuire dacă diferite gene de rezistență la boli, în diferite combinații, se regăsesc la mai mulți indivizi. Este exact ceea ce oferă sexul.

Un sprijin puternic pentru teoria lui Hamilton despre sex contra boală a venit odată cu descifrarea genomurilor, seturi complete de material genetic care se găsesc în organisme. În anul 2000 au fost identificate 150 de gene de rezistență la boli la arabidopsis. Joy Bergelson și colaboratorii ei de la Chicago au raportat că vârsta genelor și distribuirea lor între indivizi oferă prima dovadă directă a polimorfismului dinamic susținut de Hamilton.

Teoria sa se potrivește și în cazul comportamentului animalelor, care promovează diversitatea genetică preferând împerecherea în afara liniei de descendență decât în cadrul acesteia. Copiii neînruțiți crescuți împreună în comunități închise, de exemplu într-un chibuț israelian, se împerechează foarte rar atunci când cresc. Se pare că aversiunea față de incest este întrucâtva programată de apropierea din copilărie. Cobaii înruțiți crescuți în laborator preferă să se împerecheze cu un cobai care este diferit din punct de vedere genetic. Își dau seama de asta după mirosul noului venit.

Mecanismele sexuale care îmbunătățesc protecția împotriva bolilor în general au creat oportunități pentru ca anumite virusuri, bacterii și paraziți să se manifeste ca boli cu transmitere sexuală. Unei lungi liste de asemenea paraziți (denumire dată de Hamilton), secolul al 20-lea i-a adăugat SIDA. Înțeleptul de la Oxford și-a văzut confirmată teoria în cele 8 procente de indivizi care au moștenit din întâmplare o rezistență nativă la SIDA. Aceștia nu contractează boala, indiferent cât de des sunt expuși la ea.

Dedicându-se pasiunii sale, Hamilton însuși a căzut pradă malariei în anul 2000, la vârsta de 63 de ani. Plecase în Africa pentru a colecta diferite mostre de fecale de la cimpanzei. Jucând rolul unui biolog legist, el investiga scenariul unui

reporter care susținea că SIDA a apărut în eșantioanele de vaccinuri antipoliomielitice create în celulele cimpanzeilor infestați cu un virus asemănător lui HIV. El nu a formulat niciodată o opinie referitor la această ipoteză. După moartea sa, noi dovezi, prezentate la o sesiune pe care Hamilton însuși o planificase la Londra, au părut să dezmințită aceste afirmații.

● Distribuția copiilor de siguranță

Probabil că Mama Natură a inventat mașinăria celulară pentru sex doar o dată în 4 miliarde de ani de viață. Ea este aceeași peste tot, până la cel mai mic detaliu molecular. Trebuie să fi existat, desigur, mai multe încercări eșuate. Însă toate speciile sexuate din prezent ar putea fi descendenți direcți ai unui grup solitar de swingeri² unicelulari ce sălășluiau în marea proterozoică.

Înregistrările fosile de acum un miliard de ani sunt insuficiente pentru a fi de ajutor. Mult mai promițătoare este povestea evoluției, reconstituită cu ajutorul asemănarilor și diferențelor dintre gene și proteine din organisme vii, de la bacterii la mamifere. Înrudirea dintre mecanismul sexuat celular al creaturilor moderne și unele molecule ale strămoșilor asexuați, reprezentate de microbi supraviețuitori, ar putea în cele din urmă să ne lămurească ce s-a întâmplat cu adevărat. Între timp, ne sunt oferite diferite scenarii.

Maynard Smith de la Sussex i s-a alăturat lui Eörs Szathmáry de la Institutul de Studii Avansate din Budapesta în încercarea de a corela originea sexului cu managementul copiilor de siguranță ale genelor. Toate organismele repară în mod curent genele deteriorate. Acest lucru este posibil doar dacă există copii ale genelor, pe care mecanismele de reparație să le poată duplica.

Acesta este motivul fundamental pentru care avem seturi duble de cromozomi care poartă gene similare. Dar ele reprezintă o piedică, mai ales pentru creaturile mici, unicelulare, care vor să se dezvolte rapid. Unele drojdii din zilele noastre își aruncă un set de gene și se bazează pe prieteni pentru a-și crea copii de siguranță.

Jumătățile de celule astfel rezultate cresc mai repede, dar plătesc prețul de a nu putea să repare defecțiunile genetice. Din când în când mai fuzionează cu alte semicelule, devenind o celulă întreagă timp de câteva generații, pentru ca apoi să se separe din nou. În această alternanță întreg-jumătate a drojdiilor, Maynard Smith și Szathmáry au intuit o repetiție generală celulară a diviziunii în celule germinative și a reunirii lor sexuale.

Lynn Margulis de la Boston a descris originea sexului drept canibalism, proces în care o celulă o înghite pe alta, fiind aleasă pentru a-i păstra genele. Indiferent cât va cântări în viitor ipoteza sa în legătură cu originea sexului, ea conține una

² swinger – persoană care practică relații sexuale libere (Dicționarul Webster); persoană care se angajează liber și fără inhibiții în activitatea sexuală; swinging – obișnuința de a schimba partenerii sexuali (Dicționarul American Heritage). (n. trad.)

dintre cele mai bune replici umoristice ale științei secolului al 20-lea. Margulis a spus că „Moartea a fost prima boală cu transmitere sexuală”.

Combi-na-țiile nesfârșite ale pachetelor genetice, prin care sexul creează noi indivizi, pot continua doar dacă cei vârstnici se retrag pentru a face loc noilor veniți. O colecție de gene a unei clone este, într-un sens aproximativ, nemuritoare. Combi-na-ția unică de gene ce caracterizează fiecare individ sexy dispare odată cu el, și nu va mai fi nicicând repetată. Din această perspectivă evoluționistă, știința ar putea avea ceva de spus în mod competent cu privire la clonarea umană.

Folosirea în scop medical a țesutului clonat pentru a prelungi viața individului cu câțiva ani este, biologic, foarte puțin diferită de antibiotice sau operațiile pe cord, oricât de controversată din punct de vedere al eticii este această tehnică. Însă orice tentativă de a atinge imortalitatea genetică, fie ea de tipul clonării unui geamăn indentic al unui copil sau al producției în masă a unui fotbalist performant, este în contradicție cu miliardele de ani de înțelepciune acumulată în viermi, dinozauri sau oi. Verdictul, la bine sau la rău, este că masculii și combinațiile naturale de gene merită efortul, pe termen lung.

A abuza de acest sistem poate fi autocorector. Orice exercițiu prelungit de clonare umană reprezintă o amenințare pentru sănătate, și asta nu doar pentru că oaia Dolly a îmbătrânit prematur și a murit tânără. Conform teoriei lui Hamilton despre sex contra boală, o singură linie descendentă de oameni poate fi distrusă de o singură linie descendentă de virusuri. Așa că să ne gândim la populația exclusiv feminină de șopârle americane cu coada în formă de bici, care deja se confruntă cu acest risc.

- Pentru subiecte corelate, vezi **EVOLUȚIA**, **IMORTALITATEA** și **BOLILE PLANTELOR**. Pentru detalii despre diviziunea celulară, vezi **CICLUL CELULAR**.

COMETELE ȘI ASTEROIZII



Bulgări de noroi și de zăpadă și verișorii lor pietroși

COMETELE SUNT NIȘTE IMPOSTORI”, a declarat astronomul american Fred Whipple. „Vezi această masă imensă de praf și de gaze strălucind în lumina soarelui, dar cometa este de fapt doar un bulgăre de zăpadă în centrul ei, pe care nu-l vedem deloc.”

Cozile de gaze și de praf ale cometelor, care se pot întinde pe mai mult de 100 de milioane de kilometri în spațiul cosmic, au uimit și înfricoșat generațiile precedente. În anul 840 d.C. împăratul Chinei le-a declarat subiect tabu. Pe tapiseria de la Bayeux, o apariție a cometei Halley din anul 1066 seamănă cu o navă spațială a diavolului și profetește în mod cert moartea unui rege anglo-saxon.

Isaac Newton a început să demonteze superstițiile în urmă cu 300 de ani, definind cometele ca pe „un fel de planete, rotindu-se pe orbite închise”. La scurt timp, prietenul apropiat al lui Newton, Edmond Halley, a atras atenția asupra unui motiv rațional de teamă. Cometele s-ar putea ciocni cu Pământul. Acest lucru le-a permis profeților Apocalipsei să dea o coloratură științifică previziunilor lor. La sfârșitul secolului al 20-lea, temerile în legătură cu un eventual impact cosmic provocat de comete sau de mai puțin vizibilele „așa-zise planete” numite asteroizi erau acceptate oficial în câteva țări.

În 1932, Ernst Öpik de la Tartu, Estonia, a emis ipoteza că un nor îndepărtat de comete a înconjurat Soarele încă de la nașterea sistemului solar. În 1950, Jan Oort de la Leiden a redeschis acest subiect, accentuând ideea că stelele căzătoare ar putea, datorită atracției lor gravitaționale, disloca unele comete din nor, proiectându-le direct în centrul sistemului solar. Imensa și invizibila populație de comete primordiale, întinzându-se probabil pe o distanță de un an-lumină în spațiu, a devenit cunoscută sub numele de Norul Oort.

De asemenea, între 1950–1951, Whipple de la Harvard și-a lansat ipoteza cu privire la bulgării de zăpadă noroioși. Cometele care se întorc periodic, cum este cometa Halley, nu au apariții total previzibile, conform legii gravitației care le controlează orbitele. Acest lucru i-a oferit lui Whipple un indiciu în legătură cu originea lor. El a pus întârzierile pe seama efectului de rachetă produs de praful și de gazele eliberate de cometă – un conglomerat rotitor de gheață, plin de praf – sub influența căldurii Soarelui. Gheața este un amestec de apă înghețată și dioxid de carbon, metan, amoniac etc. solidificate.

● Cometa Halley văzută de aproape

După ce o flotilă de nave spațiale sovietice, japoneze și europene au interceptat cometa Halley în timpul călătoriei sale către Soare din 1986, multe rapoarte au confirmat ipoteza bulgărelui de zăpadă noroios. Aceasta nu era tocmai corectă. Nava Giotto, aparținând Agenției Spațiale Europene (ESA) s-a apropiat cel mai mult de nucleul cometei, la o distanță de numai 600 de kilometri. Praful cometei a afectat nava și i-a distrus camera de luat vederi încă de când aceasta se afla la 2 000 de kilometri distanță, însă Giotto a obținut de departe cele mai bune imagini ale nucleului cometei Halley.

Fotografiile reprezentau un obiect întunecat de forma unui cartof, lung de 15 kilometri, cu jeturi de praf și vapori expulzate din zone izolate situate pe partea luminată de Soare. Whipple anticipase culoarea închisă a nucleului, datorată unui strat de praf de deasupra gheții, iar adepții teoriei sale au susținut această interpretare. Însă după examinarea a peste 2 300 de imagini, responsabilul camerei de luat vederi de pe Giotto și-a format o altă părere.

„Nu se vede nicio suprafață de gheață”, a spus Uwe Keller de la Institutul Max Planck de Aeronomie din Germania. „Structura fizică este dominată de matricea unui material nevolatil.” Cu alte cuvinte, cometa Halley nu era un bulgăre de gheață murdară, ci un bulgăre de noroi înghețat.

Și nu era doar un joc de cuvinte. Diferența era ca aceea între un șerbet de ciocolată și o prăjitură cu ciocolată, abia scoase din frigider. Ambele conțin gheață, dar unul se va lichefia total după încălzire, pe când celălalt va rămâne cu o formă ușor de recunoscut, cea de prăjitură. În mod asemănător, cometa Halley ar putea supraviețui sub forma unei entități întunecate și fără coadă, atunci când toată gheața sa se va fi vaporizat în timpul repetatelor călătorii pe lângă Soare. Atunci ea va deveni asteroid.

Whipple prevăzuse și el această posibilitate. O parte din praful din coada unei comete cade pe Pământ, dacă acesta intersectează orbita ei, generând ploii anuale de meteoriti. În 1983 Whipple a atras atenția asupra faptului că o faimoasă ploaie de meteoriti din decembrie, Geminidele, este asociată nu cu o cometă, ci cu asteroidul Phaeton – care putea fi o cometă moartă de curând, dar cu nucleul intact.

În 2001, când nava americană Deep Space 1 a observat nucleul cometei Borrelly, a descoperit o suprafață întunecată, relativ caldă, complet lipsită de gheață. Gheața despre care se știa că ar fi trebuit să existe se ascunde sub sedimentele negre, probabil compuși organici, care acoperă suprafața cometei.

● Când Mama Natură încurcă cutiile

Pentru unii specialiști, ideea unei legături între comete și asteroizi părea inadmisibilă. În 1801, când Giuseppe Piazzi din Palermo a descoperit primul aste-

roid, Ceres, dovezile arătau că asteroizii erau formați din rocă și conțineau uneori fier. Majoritatea lor se aflau în Centura de Asteroizi dintre Marte și Jupiter, de unde porneau într-o procesiune ordonată în jurul Soarelui, pe orbite circulare.

La două secole după descoperirea lui Piazzi, numărul obiectelor identificate în Centură a depășit 40 000. Între 1996 și 1997, Observatorul Spațial European în Infraroșu a identificat obiecte invizibile în lumina obișnuită. În consecință, astronomii au calculat că în Centură se află mai mult de un milion de corpuri având diametrul de peste un kilometru. Imaginile detaliate obținute de alte sonde spațiale au arătat că asteroizii sunt alcătuiți din rocă, probabil din același gen de materie din care s-au format Pământul și Marte.

Ce putea fi mai diferit de cometele înghețate? Când nu sunt constrânse în roiuri, cometele se mișcă în toate direcțiile în interiorul sistemului solar și uneori, asemenea cometei Halley, se rotesc în jurul Soarelui în sensul opus mișcării de revoluție a planetelor.

„Cercetătorii își doresc foarte mult să aranjeze obiectele Mamei Natură în cutii bine ordonate”, afirma în anul 2000 Donald Yeomans de la Laboratorul Jet Propulsion al NASA. „În ultimii ani, se pare că Mama Natură s-a cam împiedicat de cutiile astea, le-a răsturnat conținutul și are acum pretenția ca oamenii de știință să recunoască obiectele hibride – asteroizi care se comportă ca niște comete și comete care se comportă ca niște asteroizi.”

Pe lângă Phaeton și alți asteroizi candidați la titulatura de comete moarte, obiectele hibride ale lui Yeomans mai conțin alte trei corpuri cerești pe care astronomii le-au clasificat ca fiind și comete, și asteroizi. Acestea sunt: Chiron, care orbitează între Saturn și Uranus, cometa Wilson-Harrington aflată pe o orbită excentrică și cometa Elst-Pizarro din Centura de Asteroizi. În 1998, într-un meteorit de piatră – probabil o parte dintr-un asteroid – căzut în Monahans, Texas, s-a descoperit apă sărată. Confuzia s-a intensificat odată cu identificarea, în 1999, a doi asteroizi care orbitau în sens opus planetelor în jurul Soarelui, acesta fiind un privilegiu al cometelor.

Între timp, îndepărtata planetă Pluto s-a dovedit a fi asemănătoare unei comete. Pluto este o planetă mai mică decât Luna și are o lună proprie, Charon. Când orbita sa excentrică o aduce mai aproape de Soare decât Neptun, așa cum s-a petrecut între anii 1979–1999, gazele înghețate de pe suprafața sa se vaporizează ca și cele ale unei comete, cu toate că au în componență ingrediente neobișnuite, în principal azot. De motive ce țin de istoria științei, Uniunea Astronomică Internațională a decis totuși menținerea lui Pluto printre planetele importante.

În 1992, la observatorul de pe muntele Mauna Kea, David Jewitt din Hawaii și Jane Luu de la UC Berkeley au observat primul dintre numeroasele corpuri celeste din „regatul” lui Pluto. Orbitând dincolo de cea mai îndepărtată planetă grea față de Soare, Neptun, aceste obiecte transneptuniene fac parte din Centura Edgeworth-Kuiper, denumită astfel după numele astronomilor care i-au prezis existența încă de prin 1950.

La sfârșitul secolului al 20-lea se cunoșteau deja 300 de corpuri stelare transneptuniene. Se estima că în centură există circa 100 000 de corpuri cerești asemănătoare lui Pluto și un miliard de comete obișnuite. Dacă este într-adevăr așa, această nouă centură depășește, atât ca număr cât și ca masă, ceea ce până acum s-a numit principala centură de asteroizi, cea dintre Marte și Jupiter.

„Aceste descoperiri erau de domeniul imaginarului cu zece ani în urmă”, declara Alan Stern de la Southwest Research Institute, din Boulder, Colorado. „Sunt atât de importante încât anumite aspecte fundamentale ale astronomiei vor trebui revizuite”. Una dintre primele implicații a fost că acele comete care se apropie mult de Soare nu provin din Norul Oort, cum se credea, ci din mult mai apropiata Centură Edgeworth-Kuiper. Aceste comete ar putea fi rezultatele coliziunilor ce au loc în centură, ca și Pluto și Charon, de altfel. Unul dintre sateliții mai mari ai lui Neptun, Triton, se presupune că s-ar fi format și el tot acolo.

● Sute de comete solare

Un alt grup de corpuri cerești a fost descoperit de sonda SOHO (Solar Heliospheric Observatory), cel mai prolific detector de comete din istoria astronomiei. Lansată în 1995, în cadrul unui proiect comun al Agenției Spațiale Europene și al NASA pentru studiul Soarelui, SOHO avea la bord două instrumente special concepute pentru identificarea cometelor. Unul era franco-finlandez, SWAN (Solar Wind ANisotropies), care identifica atomii de hidrogen liberi din sistemul solar, în lumina ultravioletă a Soarelui. Acesta a evidențiat cometele datorită norilor de hidrogen formați prin descompunerea vaporilor de apă eliberați de acestea.

Norul de hidrogen din jurul uriașei comete Hale-Bopp a ajuns să măsoare, în 1997, 100 de milioane de kilometri în diametru. Vaporii de apă erau eliberați din nucleul cometei într-un ritm de 50 de milioane de tone pe zi. Aparatul SWAN de pe SOHO a detectat, de asemenea, și divizarea cometei Linear, în 2000, înainte ca observatorii de la sol să înregistreze evenimentul.

Numărătoarea cometelor a fost realizată de un alt aparat de pe SOHO, numit LASCO, realizat sub conducerea americanilor. Mascând lumina directă a Soarelui, acesta ținea sub observație constantă un imens volum de spațiu din jurul său, urmărind în primul rând erupțiile solare. De asemenea, observa cometele care traversau linia Pământ-Soare sau pe cele care treceau foarte aproape de Soare.

Una dintre caracteristicile fascinante ale observatorului de comete SOHO era faptul că le permitea astronomilor amatori din întreaga lume să descopere noi comete, fără a tremura întreaga noapte în aer liber, ci prin simpla verificare a celor mai recente imagini transmise de LASCO, care erau disponibile gratuit pe Internet. Și erau sute de comete de descoperit, majoritatea fiind mici comete solare (sungrazer – o cometă care se apropie foarte mult de Soare), toate venind din aceeași direcție. Acestea dispăreau la contactul cu atmosfera solară, însă erau înrudite cu corpurile cerești mai mari de pe orbite similare care supraviețuiau, cum ar fi cometa Great September (1882) sau cometa Ikeya-Seki (1965).

„SOHO înregistrează fragmente ale descompunerii unei mari comete, probabil cea pe care a văzut-o astronomul grec Ephorus în 372 î.Hr.”, explica Brian Marsden, de la Centrul de Astrofizică din Cambridge, Massachusetts. „Ephorus a raportat divizarea în două a cometei. Acest lucru se potrivește cu calculele mele, conform cărora două comete cu orbite similare au trecut din nou pe lângă Soare în jurul anului 1100 d.Hr.. S-au tot divizat, formând o familie de comete solare, care vin toate din aceeași direcție.”

Cometa originală trebuie să fi fost enormă, probabil având un diametru de 100 de kilometri, fiind de o mie de ori mai masivă decât cometa Halley. Nu este un obiect cu care am vrea să se ciocnească Pământul. Astăzi, se estimează că progeniturile sale numeroase, cometele SOHO-LASCO, au diametre de numai 10 metri.

Astronomii și specialiștii în științe spațiale au pășit astfel în secolul al 21-lea cu o nouă evaluare a diversității corpurilor „mici” din sistemul solar. Există destul de multe tipuri de comete care au luat naștere în zone și circumstanțe diferite, asteroizi și hibrizi de diverse feluri. Acestea au complicat dar au și îmbogățit interpretarea cometelor, asteroizilor și meteoriților ca fiind mostre de material rămas de la construcția planetelor. Cei care se tem de posibile coliziuni cu Pământul ar trebui să știe că natura obiectului care ne impactează poate varia de la consistența fragilului șerbet Whipple sau a crocantei prăjituri Keller, până la cea a unui munte solid de rocă și de fier.

● Valsând cu o cometă

Atât întrebările științei fundamentale cât și considerentele de securitate au motivat noi misiuni spațiale. Sondele care se îndreptau spre alte destinații au obținut imagini ocazionale ale unor asteroizi vizibili în drumul lor, iar sonda Galileo aparținând NASA a detectat în 1991 prezența unui câmp magnetic în jurul asteroidului Gaspra. Prima misiune spațială dedicată studiului unui asteroid a fost misiunea navetei americane NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous) Shoemaker, lansată în 1996. În 2000 s-a plasat pe o orbită în jurul asteroidului Eros, care se rotește în jurul Soarelui în imediata apropiere a orbitei Pământului, iar în 2001 a aterizat pe el, transmițând acasă imagini detaliate din timpul debarcării. Eros s-a dovedit a fi un corp alcătuit din rocă de densitate și compoziție similare cu ale scoarței terestre, în mod evident rezultat în urma divizării unui corp ceresc mai mare.

Printre misiunile spațiale americane având ca obiect de studiu cometele se află și sonda Stardust, lansată în 1999, urmând să treacă prin coada cometei Wild pentru a obține mostre de praf pe care le va aduce pe Pământ pentru analiză în 2006. O altă sondă, numită Contour, care trebuia să compare cometa Encke cu Schwassmann-Wachmann 3, o cometă recent divizată, a dispărut imediat după lansare, în 2002, însă naveta Deep Impact (2004) are misiunea de a lansa o masă de cupru de 370 de kilograme în nucleul cometei Tempel 1, care va produce un crater de mărimea unui teren de fotbal. Impactul, vizibil cu ajutorul telescoapelor

de pe Pământ la 4 iulie 2005, ar trebui să aducă la suprafață material excavat din adâncurile cometei.

Însă cel mai important proiect de studiu al cometelor, la care aspirau specialiștii încă de la începutul Erei Spațiale, este probabil sonda europeană Rosetta. Ea va avea de făcut o călătorie lungă, în circuit, care îi va permite să se plaseze pe orbită în jurul nucleului unei comete îndepărtate din spațiu, în timpul celui de-al doilea deceniu al acestui secol. Apoi Rosetta urmează „să valseze” cu cometa un interval de mai multe luni, timp în care aceasta se apropie de Soare. Astfel va deveni observabil, de la mică distanță, modul în care „fierbe” o cometă, cu emisiile sale de praf și de gaze.

Rosetta va lansa la suprafața cometei un robot dotat cu aparate de măsură. Numit după Piatra Rosetta, cheia principală în descifrarea hieroglifelor egiptene, acest proiect are misiunea de a clarifica natura cometelor și relația lor cu planetele și cu asteroizii. Interesul major al multor cercetători din echipa Rosetta este referitor la compoziția exactă a cometei.

„Rosetta va avea deja 20 de ani de la conceperea ei în momentul în care se vor finaliza operațiunile dificile din spațiu”, spunea Hans Balsiger din Berna. „Interpretarea rezultatelor ar putea să mai dureze încă zece ani. De ce ne implicăm, atât noi cât și colegii noștri mai tineri, într-un asemenea proiect costisitor și de durată? Pentru a afla ceea ce nimeni înaintea noastră nu a știut. O descriere completă a compoziției unei comete ne va indica ce materii solide și gazoase existau pe vremea când Soarele era încă tânăr, și care au alcătuit pământul pe care stăm, apa pe care o bem, aerul pe care îl respirăm azi.”

● În căutarea celor periculoși

După cum am văzut, știința fundamentală are motive serioase să investigheze existența corpurilor mici din sistemul solar, dar cum rămâne cu securitatea planetei? Eugene Shoemaker și Eleanor Helin au început, în anii 1970, o monitorizare sistematică a corpurilor din apropierea Pământului, adică a asteroizilor și a cometelor care traversează orbita acestuia periculos de aproape, cu ajutorul unui mic telescop plasat pe muntele Palomar, în California. „De fapt, știința secolului al 19-lea”, după cum o numea Shoemaker.

Craterele de pe Pământ, de pe Lună sau de pe orice altă suprafață solidă din sistemul solar sunt martore ale „accidentelor” cosmice produse de comete și de asteroizi. Acestea au constituit mult timp o temă favorită pentru producătorii de filme, însă doar o coliziune reală i-a determinat pe politicieni să considere riscul în mod serios. Este vorba despre cometa Shoemaker-Levy 9, care s-a rupt în fragmente ce au căzut, unul după altul, în 1994, pe planeta Jupiter.

Evenimentul a reprezentat o demonstrație spectaculoasă a ceea ce Shoemaker și alții au prevăzut cu zeci de ani înainte, faptul că aceste impacturi sunt încă la ordinea zilei în sistemul solar. Efortul de monitorizare s-a intensificat și metodele

s-au îmbunătățit. Până la sfârșitul secolului, se cunoșteau deja aproximativ 1 000 de obiecte din apropierea Pământului.

O mulțime de alarme false difuzate de mass-media în legătură cu un posibil risc de coliziune cu planeta noastră i-a determinat pe vânătorii de asteroizi să fie mai prudenți atunci când anunță asemenea evenimente. La momentul scrierii acestei cărți, doar un singur obiect ne oferă motive de îngrijorare. Este vorba despre 1950 DA, care a fost identificat atât de radar cât și cu lumină vizibilă. Conform experților de la Laboratorul Jet Propulsion al NASA, există o șansă la 300 ca acest asteroid să lovească Pământul în anul 2880. Deoarece 1950 DA are o lățime de un kilometru, impactul ar avea forța explozivă a mai multor mii de bombe cu hidrogen.

Se estimează că numărul corpurilor cerești mici din apropierea Pământului care urmează să fie descoperite este de ordinul miilor. Un indiciu în legătură cu dificultățile procesului de identificare a acestora a fost descoperirea unui asteroid foarte mic, 2002 MN, o rocă de 100 de metri care se deplasa cu o viteză relativă de 10 kilometri pe secundă față de Pământ. În ciuda vigilenței sporite, acesta nu a fost observat decât după ce trecuse la o distanță de 120 000 de kilometri, mai puțin de o treime din distanța până la Lună, aceasta însemnând, în termeni astronomici, că a trecut extrem de aproape.

Chiar dacă ar fi fost mult mai mare, 2002 MN nu ar fi putut fi observat venind. El s-a apropiat din direcția Soarelui. Trecerea sa neobservată a tras un semnal de alarmă în legătură cu necesitatea de a monitoriza corpurile cerești din apropierea Pământului dintr-un alt unghi. O șansă ar putea fi instalarea unui telescop dedicat descoperirii asteroizilor la bordul unei sonde spațiale având ca destinație planeta Mercur din apropierea Soarelui.

Modulul principal al sondei europene BepiColombo, programată pentru lansare în 2011, va avea la bord acest telescop. El va urmări zeci de asteroizi prin scanarea unei benzi de cer, în timp ce modulul va orbita în jurul planetei Mercur. Pe lângă faptul că le va oferi cercetătorilor posibilitatea de a reevalua corpurile celeste din apropierea Pământului, acest telescop ar putea chiar dezvălui o nouă clasă de asteroizi, încă nedescoperită.

„Există o mulțime de obiecte potențial periculoase, având orbitele aproape complet în interiorul orbitei Pământului, dintre care multe așteaptă să fie descoperite”, a spus Andrea Carusi de la Roma. „Acești asteroizi sunt greu de observat de la sol. Dar privind de departe, de lângă Mercur, spre interiorul orbitei Pământului, BepiColombo îi va depista cu ușurință, pe fondul cerului întunecat.”

● Ce-i de făcut?

O propunere frecventă în legătură cu ce s-ar putea face în cazul în care o cometă sau un asteroid s-ar îndrepta către Pământ este devierea sau fragmentarea acestora cu ajutorul unei bombe nucleare. Un alt remediu sugerat este schimbarea culorii asteroidului amenințător, cu ajutorul unor rachete încărcate cu negru de

fum sau praf de cretă. Forțele slabe dar continue datorate radiației termice a asteroidului vor fi modificate, deviind astfel traiectoria periculosului obiect.

Această ultimă propunere evidențiază o dificultate în a prezice pe termen lung traiectoria unui asteroid. Dacă nu se cunoaște cu exactitate cum se rotește acesta și cum se va roti în viitor, efectul radiației termice asupra mișcării obiectului nu poate fi calculat. Alte incertitudini provin din haos, care la acest nivel este reprezentat de influențele greu de calculat ale interacțiunilor gravitaționale ale asteroidului cu mai mult de un singur corp ceresc. Astfel, datorită influențelor imprevizibile, haotice, după numai 50 de ani traiectoria calculată a unor asteroizi din apropierea Pământului nu mai corespunde cu cea observată.

Problema este timpul. Pregătirea și implementarea contramăsurilor poate dura zeci de ani. Dacă un obiect este vizibil doar cu câteva săptămâni înaintea impactului, există șansa să nu se mai poată face nimic, cel puțin până în momentul când omenirea va decide să cheltuiască sume mari de bani pe nave spațiale ce vor sta de gardă în permanență. Nimeni nu vrea să fie fatalist în privința impacturilor, dar cei care sunt de părere că ar trebui să punem accentul pe pregătirea rezervelor globale de hrană și pe elaborarea unor planuri de apărare civilă, inclusiv de evacuare a localităților de coastă, s-ar putea să aibă dreptate.

- *Pentru detalii în legătură cu întâlnirile anterioare ale Pământului cu comete și asteroizi, vezi IMPACTURILE, EXTINCȚIILE ȘI INUNDAȚIILE BAZALTICE. În legătură cu teoria nașterii Lunii în urma unei coliziuni, vezi PĂMÂNTUL, care include de asemenea și informații generale despre sistemul solar. Despre rolul cometelor în chimia de dinaintea apariției vieții, vezi ORIGINEA VIEȚII.*

COMPORTAMENTUL PRIMATELOR

Indicii asupra originilor culturii umane

O FICIILE POȘTALE ÎȘI MĂRESC PROFITURILE vânzând timbre de lux filateliștilor pasionați. Acesta nu era un fenomen nou, nici măcar în anul 1906, când statul african Liberia a emis un timbru în valoare de cinci cenți înfățișând un cimpanzeu. Și nu orice cimpanzeu bătrân, ci unul ocupat să atace un mușuroi de termite, ajutându-se de un băț. Detaliile sunt precise, iar bățul are exact dimensiunea necesară.

Imaginea de pe timbru anticipează descoperirea utilizării aceleiași unelte, raportată în 1964 de către primatologa Jane Goodall, în partea cealaltă a continentului, în rezervația naturală Gombe Stream din Tanzania. Ea a descris cum un animal rupea frunzele de pe un băț, îl introducea într-o gaură din mușuroiul termitelor și îl retrăgea apoi încet pentru a scoate afară câteva termite imprudente – pe care le lungea de pe băț. De unde a știut desenatorul acelui timbru despre această deprindere, cu jumătate de secol înainte? – s-au întrebat experții în 2000, când timbrul le-a fost adus în atenție.

Indiciile despre un comportament asemănător cu cel uman la alte primat – maimuțe și antropoizi – i-au amuzat pe martorii oculari timp de mii de ani. Când știința secolului al 19-lea a stabilit că oamenii au descins din maimuțele antropoide, aceste indicii au devenit importante din punct de vedere al evoluției. Ce trăsături, în afară de cele anatomice, ne diferențiază de alte specii? Și invers, ce ne pot spune rudele noastre din regnul animal despre originile propriului nostru comportament?

Au fost propuse trei aptitudini, presupuse exclusiv umane: confecționarea uneltelor, cultura și limbajul complet dezvoltat. Doar ultima a supraviețuit până în secolul al 21-lea. Pregătirea bățului pentru a pescui termite de către un cimpanzeu este doar unul din numeroasele exemple de situații în care animalele folosesc unelte, dar ideea a fost vehement respinsă la început. Kenneth Oakley de la Muzeul de Istorie Naturală din Londra a admis, în 1963, că unelte ar fi putut fi improvizate pe loc, dar a insistat că „ideea de șlefuire a unei pietre sau unui băț pentru utilizarea într-o posibilă circumstanță viitoare depășește cu mult capacitatea mentală a oricărei maimuțe antropoide”. Însă atunci când cimpanzeii

au fost văzuți pregătind un băț și apoi căutând mușuroaie de furnici, edificiul superiorității umane s-a prăbușit.

● Inventatorii din Koshima

Ideea că doar noi oamenii avem cultură, adică informații și comportamente transmise prin exemple sociale mai curând decât prin instincte moștenite, a fost contrazisă de o tânără maimuță, pe nume Imo, în 1953. Ea făcea parte dintr-un grup de macaci japonezi din insula Koshima și era ținută sub observație de Kinji Imanishi din Kyoto și de colegii săi, în cadrul primei monitorizări pe termen lung a comportamentului primatelor în sălbăticie, din întreaga lume.

Până atunci, oameni de știință eminente, cum ar fi Solly Zuckerman de la Oxford, consideraseră că puteau afla tot ce doreau să știe despre comportamentul social al maimuțelor numai prin observarea lor în captivitate. Pe lângă aceasta se adăuga ostilitatea față de orice amintea de antropomorfism – atribuirea calităților umane animalelor, ca în fabule și în poveștile cu zâne. În 1929, pe când Zuckerman era un tânăr cercetător care studia babuinii de la Grădina Zoologică din Londra, i-a criticat pe ceilalți cercetători pentru „descrierea lor antropomorfică, fie în vechea formă ostentativă, sau într-una nouă, bazată pe o formulă comportamentală grosolană”.

Maimuțele din Koshima erau mai ușor de observat pe plajă, așa că oamenii de știință din Kyoto le-au făcut să coboare din copaci și le-au atras acolo cu cartofi dulci lăsați pe nisip. Pentru a mânca bunătățile, maimuțele trebuiau să îndepărteze nisipul de pe ele. Imo, o maimuțică în vârstă de 18 luni, a descoperit că era mai ușor să spele cartoful în mare. Treptat, și alți pui și mame au făcut la fel, iar după câțiva ani 90% din grup își curăța mâncarea în acest mod. Ca și în societățile umane, masculii vârstnici s-au opus cel mai mult acestei schimbări culturale.

Când cercetătorii au împrăștiat grâu pe nisip, alegerea boabelor comestibile a fost o sarcină deosebit de dificilă pentru maimuțe. Din nou, jucăușa Imo a găsit o soluție. Ea a aruncat combinația de nisip și grâu în mare. Nisipul s-a scufundat, dar grâul, fiind mai ușor, plutea și astfel ea a putut să-l adune de la suprafață. Și această metodă a fost acceptată de membrii tineri ai grupului. Cei mai în vârstă s-au mulțumit să fure grâul ud, deja sărat, pe care tinerii îl adunau.

Departe de a fi felicitat pentru descoperirile sale, Imanishi s-a trezit că era contrazis de colegii săi occidentali. Ei l-au ridiculizat deoarece și-a umanizat subiecții. Nu trebuia să te apropii așa de mult de animale. Aceasta aducea a antropomorfism – și nu era atitudinea pe care savanții ce studiau comportamentul animalelor trebuiau să o adopte în munca lor.

Totuși, pentru a descoperi cultura primatelor, acele inhibiții occidentale erau contraproductive. Ele au încurajat interpretarea întregului comportament ca fiind instinctiv, în timp ce stilul de cercetare al lui Imanishi a relevat rolul fiecărei priimate în grupul ei, exact ca și al oamenilor în societățile lor. Dacă animalele ar putea învăța unul de la altul, acesta ar deveni evident.

„Cultura japoneză nu pune accentul pe diferența dintre oameni și animale, deci nu e atinsă de vraja anti-anthropomorfismului,” a afirmat Jun'ichiro Itani, student și totodată coleg de-al lui Imanishi. Frans de Waal de la Universitatea Emory din Atlanta, care a făcut cronică acestei controversă filozofice în cartea sa *The Ape and the Sushi Master* (Antropoidul și maestrul Sushi-ului), a rezumat rezultatul povestind că zoologul american Ray Carpenter, cel care a realizat primele studii ale primatelor începând cu anul 1931, s-a convertit. „El a vizitat Japonia de trei ori și, într-un deceniu, practica identificării individuale a primatelor a fost adoptată în studiul primatologic occidental.”

● Diferențele dintre grupurile de cimpanzei

În 1961, Imanishi și Itani și-au îndreptat atenția asupra cimpanzeilor din Tanzania, de pe coastele vestice ale Munților Mahale. Aceasta se întâmpla la un an după ce Jane Goodall a început studiul cimpanzeilor în rezervația naturală Gombe Stream, la 170 de kilometri spre nord. Ea a întâmpinat multe dificultăți până să le obișnuiască pe animale cu prezența ei, dar momentul decisiv a sosit în 1962, când un mascul bătrân s-a apropiat de cortul ei. „După luni întregi de disperare”, a scris Goodall mai târziu, „în care cimpanzeii fugeau când mă vedeau la o distanță de cinci sute de metri, a apărut unul care se simțea ca acasă în tabăra mea”.

Problemele savanților din Kyoto cu acomodarea au durat mai mult timp, și abia în anul 1975 proiectul lor de studiu al cimpanzeilor din Munții Mahale a început efectiv, avându-l în frunte pe Toshisada Nishida. Între timp, Yukimaru Sugiyama observa cimpanzeii din pădurea Budongo (Uganda) și Bossou (Guinea). La acea vreme experții începuseră deja să se întrebe dacă folosirea uneltelor și alte modele comportamentale ale cimpanzeilor erau instinctive sau culturale, în genul inovațiilor lui Imo din grupul macacilor din Koshima.

Proba de foc era să se decidă dacă obiceiurile erau comune tuturor cimpanzeilor sau nu. La sfârșitul anilor 1970, William McGrew de la Universitatea Stirling a oferit dovezi despre comportamentul variabil și prin urmare cultural în diferite grupuri de cimpanzei. Aceste studii au fost însuflețite de dovezile genetice conform cărora cimpanzeii sunt cele mai apropiate rude ale noastre în viață. Problema era că stabilirea *absenței* unui anume obicei, pentru a dovedi că nu e instinctiv, necesita o observare mai atentă și mai îndelungată decât pentru a-i detecta prezența.

Au mai trecut 20 de ani. Observatorii cimpanzeilor acumulasera deja 150 de ani de observații pe parcursul a șapte studii pe termen lung. În afară de Gombe, Mahale (două locuri diferite), Budongo și Bossou, care au fost deja menționate, s-au adăugat Kibale din Uganda și Pădurea Taï din Coasta de Fildeș. Cu fiecare studiu nou era descoperit un nou comportament.

Andrew Whiten de la Universitatea St. Andrews a considerat că era timpul să valorifice această experiență și să pună în ordine, cu ajutorul cercetătorilor, variațiile

din repertoriul cimpanzeilor din diferite locuri de studiu. Rezultatele au fost decisive. Din 65 de obiceiuri observate, se consideră că nu mai puțin de 39 erau culturale, prin faptul că apăreau doar în unele locuri, fără a exista vreun motiv ecologic care să justifice diferențele dintre ele.

Printre exemplele de comportament unic se poate menționa prepararea de chiftele din furnicile capturate în Gombe, dar nu și în altă parte, și extragerea măduvei din oase cu un băț, numai în Pădurea Tai. Din contră, unele obiceiuri ce apăreau în majoritatea locurilor lipseau din altele. Cimpanzeii masculi execută dansuri de ceremonie la începutul ploilor puternice peste tot, în afară de Bossou.

„Nu cunoaștem alte variații asemănătoare la alte specii în afară de om”, au conchis Whiten și distinsa sa comisie în 1999, adăugând în mod derutant, „deși se pare că nu s-a realizat niciun studiu sistematic de acest gen”. Noul secol poate aduce dovezi despre invențiile, imitarea și comportamentul cultural la alte specii de maimuțe și antropoizi, dacă se va face efortul necesar de a le căuta.

Și nu doar la primate. Păsările cântătoare au dialecte locale. Animalele migratoare învață trasee complexe de la părinții lor, care se schimbă datorită climei variabile și a modificărilor aduse peisajului și râurilor fie ele geologice sau cauzate de om. Asistăm astfel doar la începutul răsturnării conceptului occidental care consideră animalele drept niște roboți fără judecată, de către concepția japoneză, care le-a atribuit întotdeauna capacitatea de a avea o cultură inteligentă.

● Învățarea de la mamă

Cimpanzeii vor continua să ne surprindă. În 1978, Institutul pentru Cercetarea Primatelor din Kyoto a început să studieze inteligența cimpanzeilor într-o colonie de animale captive. Proiectul a fost numit după vedeta spectacolului, o femelă pe nume Ai, care, după mulți ani de învățare, a comunicat cvasi-lingvistic folosind simboluri pe un ecran de calculator. În 1998, fiul lui Ai, Ayuma, în vârstă de nouă luni, o privea făcând aceasta și, brusc, s-a dus la calculator și a răspuns corect la o întrebare.

Tetsuro Matsuzawa, conducătorul acestui proiect de cercetare, a stabilit o paralelă directă cu comportamentul puilor din sălbăticie, la Bossou. Acolo ei învață cum să folosească o pereche de pietre ca ciocan și nicovală pentru a sparge nucile tari din palmierii de ulei. După ce privesc cu atenție cum fac acest lucru mamele lor și alți cimpanzei, la nouă luni ei încep să imite diferite secvențe ale acestei acțiuni.

„Puiul Ayuma a urmărit comportamentul mamei sale încă de la naștere”, a comentat Matsuzawa. „El a fost expus în mod repetat aceleiași situații în fiecare zi, până când s-a decis să acționeze. Aceasta reflectă o motivație puternică și intrinsecă de a copia comportamentul mamei – astfel învață cimpanzeii diferite deprinderi de la adulți.”

În 1975, s-a descoperit cu uimire că neandertalienii, cele mai recent dispărute rude ale oamenilor, cunoșteau multe lucruri despre medicina naturistă, după cum

o demonstrau ierburile medicinale ce înveleau un corp îngropat în Irak cu 60 000 de ani în urmă. S-a dovedit apoi că și cimpanzeii din Munții Mahale folosesc plante ca și medicamente, de exemplu împotriva viermilor intestinali care îi chinuie în anotimpurile ploioase. Una dintre primele plante astfel descoperite, în 1989, este migdalul amar (*Vernonia amygdalina*).

Animalele culeg lăstarii, îndepărtează coaja și mestecă miezul, pentru a suge un suc foarte amar. De asemenea, împăturesc frunzele și le înghit cu totul. Frunzele aspre pur și simplu curăță paraziții de pe pereții intestinului. Dar în suc de migdală amară, biochimiștii și farmacologii din întreaga lume au descoperit de atunci diferite principii care fac din acesta un remediu promițător împotriva dizenteriei, a malariei, a viermilor paraziți și poate chiar pentru prevenirea cancerului.

Migdala amară este un medicament tradițional larg răspândit printre vindecătorii africani. Să fi învățat oamenii despre virtuțile ei de la rudele lor culturalizate, antropoizii?

► Pentru subiecte înrudite, vezi **ORIGINEA UMANĂ** și **MAMIFERELE**.

CONEXIUNEA CUANTICĂ



De la enigmatic la bizar și până la folositor

TURNUL EIFFEL a fost un turn de televiziune gata făcut, pe care Alexandre-Gustave Eiffel l-a numit el însuși *une antenne monumentale* (o antenă monumentală). Și a fost bucuros să vadă că a fost folosit în primele experimente radio. Prima utilizare majoră a fost de natură militară, pentru a conecta Parisul cu trupele ce păzeau granița de est a Franței. Iar printre telegrafiștii armatei care se aflau în turn în timpul Primului Război Mondial era și un viitor savant, Louis-Victor-Pierre-Raymond de Broglie.

Prin acest ordin de încartiruire, de Broglie, descendent al unei familii de mareașali, a scăpat de baia de sânge din tranșee. Deși conștiincios în sarcinile sale tehnice, a avut timp să reflecteze asupra viitoarei sale cariere. Deoarece era un *aristo* (aristocrat), a fost ales să facă parte din *le corps diplomatique* (corpul diplomatic), și a studiat istoria și arta la Sorbona, înainte să fie sedus de știință. Când a fost eliberat din armată, a optat pentru fizica teoretică.

În 1923, în perioada doctoratului, de Broglie a scris o scurtă lucrare care a schimbat pentru totdeauna percepția oamenilor asupra lumii materiale. Aceasta a dat startul dezvoltării mecanicii cuantice, un model teoretic ce făcea ca totul în Univers să pară nesigur și aleator. Deși mulți au considerat-o atunci intolerabil de stranie, totuși, acum în secolul 21, mesajele se comunică prin legături cuantice la distanțe mari, fapt ce pare la fel de imposibil.

„În tinerețe, te-ai lansat în controversele iscate pe seama celor mai profunde probleme din fizică”, a spus un fizician suedez, prezentându-l pe de Broglie cu ocazia primirii Premiului Nobel, în 1929. „Ai avut curajul să susții, fără să ai vreo dovadă cunoscută, că materia are nu doar o natură corpusculară, ci și una ondulatorie. Ulterior, experimentele au dovedit corectitudinea perspectivei tale.”

Totul a pornit de la discuțiile lui Louis de Broglie cu fratele său Maurice, care era interesat de interacțiunea razelor X cu cristalele. Acest fenomen indica foarte clar natura duală a radiației luminoase, ca în teoria cuantică inițiată de Max Planck la Berlin în 1900 și definită exact de Albert Einstein la Berna, în 1905. Când sunt împrăștiate pe rețelele plane de atomi dintr-un cristal, razele X se comportă ca niște unde, dar atunci când interacționează cu un film fotografic, ele se transformă în mod miraculos în particule individuale, numite fotoni. Natura duală a luminii era destul de uimitoare, dar de Broglie a atribuit-o și materiei.

„Mi-a venit ideea că trebuie să extindem această dualitate la particulele materiale, mai ales la electroni”, povestea de Broglie mai târziu. Frecvența luminii este proporțională cu energia fotonilor săi, deci de ce să nu asociem o anumită frecvență, mărime specifică undelor, și energiei unei particule? După cum demonstrase Einstein, energia este pur și simplu proporțională cu masa particulei. Pentru atomi frecvența ar fi foarte înaltă și undele extrem de scurte, dar pentru electronii ușori lungimile de undă ar trebui să fie suficient de lungi pentru ca undele de materie să fie detectabile.

În 1928, Clinton Davisson de la Laboratoarele Bell Telephone și George Thomson de la Aberdeen au confirmat independent existența undelor de materie. Davisson a reflectat electronii pe un cristal de nichel. Thomson i-a proiectat prin pelicule subțiri din diverse materiale. În fiecare caz, electronii au format figuri de interferență la fel ca în cazul undelor luminoase. Înainte de sfârșitul secolului, fizicienii vor experimenta cu superatomi alcătuiți din milioane de atomi de sodiu. Ei au văzut undele de materie comportându-se ca niște vâlvurele pe un heleşteu. Ingineria cuantică a dezvoltat noi tipuri de giroscopice atomice și senzori de mișcare pentru a exploata natura ondulatorie a atomilor obișnuiți, care promitea a fi la fel de revoluționară ca și ceasurile atomice în măsurarea timpului. Un giroscop cu unde atomice ce funcționează în spațiu ar putea fi, teoretic, de 100 de miliarde de ori mai sensibil decât giroscopicele existente.

Și alți cercetători vor juca un nou joc cu lumina și materia, numit „conectare” cuantică. Acesta a adus metode noi, foarte puțin credibile de comunicare ce

afectează percepția noastră asupra funcționării Universului. Paradoxal, a apărut ca un rezultat al eforturilor de a face comportamentul cuantic mai puțin complicat pentru mintea umană.

● „O întâmplare”

Teoreticienii nu au așteptat verificarea undelor de materie ale lui de Broglie. La mijlocul anilor 1920 ei au preluat ideea și au elaborat teoria mecanicii cuantice. Aceasta a depășit repede relativitatea lui Einstein, conceptul dominant în fizica secolului al 20-lea. Coordonatorul mecanicii cuantice a fost Niels Bohr de la Copenhaga, cel care a reconciliat ideile tinerilor fizicieni, în special din Germania și Austria. Există povestioare nostime despre astfel de oameni de știință ce așteptau pe peroanele din toată Europa pentru a-i cere părerea lui Bohr, atunci când trenul lui urma să treacă prin respectiva gară.

Tânărul Werner Heisenberg, din Leipzig, în vârstă de 26 de ani, a inventat principiul incertitudinii în timp ce se afla în vacanță la schi, în 1928. El a respins ideea undelor de materie tangibile în favoarea noțiunii de nor statistic. Incertitudinea intervine deoarece dacă cunoști viteza unei particule, nu poți spune cu exactitate unde se află aceasta. Sau dacă știi unde este localizată, nu poți spune exact cum se deplasează.

Cristalele de sare care se formează când apa de mare se evaporă i-au oferit lui Heisenberg un exemplu din viața de zi cu zi pentru a ilustra noua sa concepție. „Acest proces menține un element statistic și – s-ar putea spune – istoric care nu mai poate fi redus”, a spus el. „Chiar și atunci când starea lichidului e cunoscută complet înainte de cristalizare, forma cristalului nu este determinată de legile mecanicii cuantice. Structurarea formelor regulate este de departe mult mai probabilă decât cea a unei mase informe. Dar forma fundamentală își datorează geneza, parțial, unei întâmplări care în principiu nu mai poate fi analizată.”

După cum a atras atenția Bohr, principiul incertitudinii implică ideea că oamenii de știință care analizează particulele interacționează inevitabil cu ele. Aceasta a condus la repetate încercări de a descoperi legături între mecanica cuantică și conștiința umană. Un gen de interpretare sugerează că Universul n-ar fi decât o consolă de jocuri pentru fizicieni.

Întregul subiect este un câmp minat rațional, pe care profanii trebuie să pășească cu atenție. Dar ei ar trebui să se ferească mai ales de filozofii de bar care confundă incertitudinea fizică cu îndoiala umană sau cu știința instabilă. Mecanica cuantică este teoria cea mai minuțios verificată din întreaga istorie a științei.

Succesul ei extraordinar s-a întrevăzut deja încă de la începutul anilor 1930. Pentru început, a explicat chimia. Afirmând că doi electroni nu pot ocupa exact aceeași poziție într-un atom, Wolfgang Pauli din Viena a dat un sens tabelului elementelor chimice și diferitelor lor proprietăți. Natura legăturilor chimice, după cum a explicat Linus Pauling de la Caltech, a devenit treptat inteligibilă în

termenii mecanicii cuantice. Prin extensie, chimia a inclus și biologia, în ceea ce privește procesele moleculare ale vieții. De exemplu, genele pot fi privite ca niște dispozitive rafinate funcționând după legile mecanicii cuantice.

Paul Dirac de la Cambridge a demonstrat că electronii au o mișcare de rotație numită spin și a prezis existența antimateriei. Hideki Yukawa din Osaka a inițiat căutarea particulelor purtătoare ale forțelor subatomice – o căutare ce avea să-i țină pe fizicieni ocupați în mod productiv pentru tot restul secolului. Iar principiul incertitudinii al lui Heisenberg umple spațiul vid cu particule virtuale care pot supraviețui pentru câteva clipe deoarece legile conservării nu au avut suficient timp pentru a le interzice.

Rezultatul este o imagine foarte animată a materiei atomice. Particulele cu sarcină electrică sunt iridescente, având un roi de fotoni virtuali în jurul lor. Când romancierul și scriitorul de literatură științifico-fantastică H. G. Wells și-a exprimat reacția față de mecanica cuantică, el a scris: „Atomii de pe vremea părinților noștri păreau, prin comparație, ca un joc cu bile de sticlă abandonat într-un colț al unui teren de joacă noroios într-o zi ploioasă.”

● Doamna Șansă guvernează

Singura problemă era că mecanica cuantică nu avea niciun sens pentru orice minte umană care nu se mai gândea la ea. Un set de reguli matematice pe care generații succesive de studenți trebuiau să le învețe, cum sunt regulile de șah, oferă răspunsurile corecte de fiecare dată. „Folosiți-l. Funcționează, nu vă temeți”, le-a spus Isador Rabi studenților săi de la Columbia. Dar procesele în sine sfidează imaginația.

Ori de câte ori o rază de lumină monocromatică trece printr-o pereche de fante înguste, se formează benzi luminoase și întunecoase. Undele ce ies din fante se amplifică reciproc în benzile luminoase, și se anulează în intervalul despărțitor, întunecos. Figura de interferență care rezultă este o demonstrație clasică a naturii ondulatorii a luminii.

Dar fizicienii au dovezi la fel de valabile că lumina este alcătuită din particule – fotonii. Să facem acum sursa luminii extrem de slabă, astfel încât fotonii singuri să poată trece prin fante individual, unul după altul. O părere naivă ar fi că fiecare foton poate trece doar printr-o fantă sau alta și astfel modelul benzilor ar dispărea.

La sfârșitul experimentului, fotonii care sosesc formează treptat aceleași benzi luminoase și întunecoase. Este ca și cum fiecare foton ar trece prin ambele fante simultan, conform predicției mecanicii cuantice. Același lucru se petrece cu electronii ce se deplasează sub forma undelor de materie ale lui de Broglie.

În lumea cuantică, Doamna Șansă guvernează. O undă de lumină sau o undă de materie definește un volum mare de spațiu în care s-ar putea găsi fotonul sau electronul asociat. De îndată ce particula își face apariția, pe un film fotografic de exemplu, unda încetează să mai existe. Ea și-a atins scopul precizând nu locul

exact unde va ajunge particula, ci probabilitatea ca ea să ajungă în punctul A, sau în punctul B, sau în punctul C.

„Nu, nu veți putea înțelege aceasta”, a afirmat Richard Feynman de la Caltech în timpul unei conferințe cu public nespecialist despre descrierea cuantică a forței electrice. „Nu pot explica de ce Natura se comportă în acest mod specific.” Aceasta era viziunea tradițională, construită de Bohr și trupele sale de șoc, și adoptată de mulți alți teoreticieni. Ei ne-au asigurat că mecanica cuantică se aplică proceselor și particulelor microscopice și că nu există nicio contradicție cu vechea fizică macroscopică. Ele sunt complementare.

Totuși, câțiva savanți au refuzat să creadă că mecanica cuantică era completă. Ei doreau o imagine a evenimentelor subatomice care să fie nu doar mai ușor de conceput, ci și mai puțin amenințătoare pentru vechea idee științifică despre realitatea obiectivă, previzibilă. Însuși de Broglie a declarat: „Teoriile statistice ascund o realitate complet determinată și care poate fi constatată, în spatele variabilelor care nu pot fi sesizate prin tehnicile noastre experimentale”.

El a imaginat o a doua undă, pe lângă unda principală de materie sau de lumină, care ar putea descrie comportamentul unei particule mai în detaliu. David Bohm de la Colegiul Birkbeck din Londra a dezvoltat mai târziu acest concept de undă pilot. Aceasta ar putea, de exemplu, cerceta calea prin cele două fante în experimentul menționat.

Cel mai teribil disident a fost Einstein. „Dumnezeu nu joacă zaruri!” a spus el, iar Bohr i-a replicat: „Nu-i mai spuneți lui Dumnezeu ce să facă!”. Einstein a înțeles foarte bine că Dumnezeu părea că joacă zaruri în fiecare zi, în sensul că rezultatele experimentelor din fizică ce investighează evenimentele subatomice sunt într-adevăr ceva nesigur și impredictibil. Dar, ca și de Broglie, bănuia că ceva lipsea din teorie. Și spera că, atunci când se va descoperi acest ceva, el va aduce totodată o înțelegere mai profundă.

● Paradoxul care a devenit efect

Principala nemulțumire a lui Einstein referitoare la mecanica cuantică era că „aceasta nu se poate împăca cu ideea că fizica ar trebui să reprezinte o realitate în timp și spațiu, fără acțiunea supranaturală [*unheimlich*] la distanță”. El a folosit un aparent paradox al mecanicii cuantice pentru a ilustra la ce se gândea. În 1935, Einstein a lucrat în colaborare cu Boris Podolsky și Nathan Rosen, tineri colegi de la Institutul pentru Studii Avansate de la Princeton, la o lucrare intitulată „Poate fi considerată completă descrierea mecanicii cuantice a realității fizice?”.

Paradoxul Einstein-Podolsky-Rosen se referă la două particule care interacționează – se ciocnesc, de exemplu – și apoi pleacă în direcții diferite. Legile fizicii guvernează interacțiunea particulelor. Dacă măsoară poziția unei particule, poți, cu ajutorul legilor, să prezici și poziția celeilalte.

Dar în fizica cuantică nici chiar particulele nu știu unde se găsesc înainte ca pozițiile lor să fie măsurate. Există doar probabilitățile de a fi aici, mai degrabă decât

acolo, precizate de undele asociate lor. În orice caz, interacțiunea particulelor face ca undele lor să interfere într-un mod care garantează supunerea față de legile fizice.

Și acum urmează enigma. Să măsurăm o proprietate, de exemplu poziția, mai întâi a unei particule, apoi a celei de-a doua. Nimic nu e stabilit până ce prima măsurătoare nu definește poziția primei particule. În acel moment, a doua particulă poate ști unde trebuie să apară. Dar de unde știe ea încotro să se deplaseze?

Particulele pot fi foarte departe una de cealaltă în momentul în care se fac măsurătorile. A obține rezultatul corect, cu particulele în pozițiile cerute de legile fizicii, este ca și cum un mesaj ar trebui să circule mai repede decât lumina, de la o particulă la alta. Și acest mesaj spune: „Bună partenero, tocmai m-au descoperit la aceste coordonate, deci asigură-te că ești la acelea”.

Aceasta este acțiunea la distanță în mecanica cuantică, de care Einstein s-a plâns tot restul vieții sale. Dacă nu înțelegeți de ce a numit-o supranaturală, citiți ultimele paragrafe încă o dată. Conexiunile cuantice dintre particulele separate la mari distanțe sunt cu mult mai stranii decât o particulă care pare că trece prin două fante în același timp.

Câțiva ani mai târziu, John Bell, fizician teoretician din Irlanda de Nord ce lucra la laboratorul de fizica particulelor de la CERN, Geneva, a reflectat în timpul liber asupra Paradoxului Einstein-Podolsky-Rosen și asupra ideilor lui Bohm, pe care îl admira. El s-a gândit să verifice afirmația lui de Broglie și a lui Einstein, anume că lipsea ceva din mecanica cuantică. Într-o lucrare publicată în 1966, Bell a argumentat că dacă particulele ar avea proprietăți suplimentare care le-ar determina mișcările, acestea ar afecta rezultatele din experimentele cu două particule. Ele ar trebui să facă predicțiile mecanicii cuantice mai puțin sigure.

Dar să ne întoarcem la Paris, sau mai exact la Institutul de Optică din campusul Paris-Sud, în suburbia Orsay. Acolo, doctorandul Alain Aspect a verificat scenariul lui Bell într-un experiment cu două particule. El a folosit fotonii radiațiilor verde și albastră, particule de lumină născute împreună, ca frații gemeni, din atomi de calciu în stare excitată.

Filtrele pentru culori au permis luminii verzi să meargă numai într-o direcție, iar luminii albastre doar în direcția opusă. Astfel s-a asigurat despărțirea la mare distanță a fotonilor gemeni. Cu filtre asemănătoare ochelarilor de polarizare, Aspect a măsurat direcțiile de rotație ale fotonilor (spinii). Conform fizicii atomice, cei doi fotoni trebuiau să aibă spini opuși. Dacă cunoșteai spinul fotonului „verde”, puteai deduce spinul celui „albastru” și invers.

Ca și în cazul pozițiilor particulelor din exemplul anterior, nici fotonii nu știau în ce direcție se roteau până ce nu era gata măsurătoarea. În parte, depindea de testul pe care-l făcea experimentatorul. De exemplu, un foton ce se rotește în jurul unei axe verticale are 50% șanse de a trece printr-un filtru care îi cere să se rotească la un unghi de 45°.

Experimentul de la Orsay a avut o caracteristică decisivă. Folosind comutarea la mare viteză, decizia referitoare la care test să fie aplicat pentru a determina spinul fotonilor era luată doar după ce aceștia își începeau deja călătoria prin aparat. Până când să ajungă la detectoare, erau deja la 13 metri depărtare – mult prea departe pentru ca orice semnal care se propaga cu viteza luminii să asigure legătura între ei. Chiar și așa, comunicarea secretă între fotonii verzi și cei albaștri s-a păstrat, astfel încât ei au apărut cu spini corelați la cele două ieșiri ale aparatului.

Rezultatele experimentului lui Aspect, anunțate în 1982, erau în perfect acord cu predicțiile mecanicii cuantice generale. Aceasta nu a fost nicidecum o victorie nesemnificativă. Conform predicțiilor lui Bell, dacă mecanica cuantică era incompletă, numărul corelărilor spinilor fotonilor verzi și albaștri ar fi trebuit să fie redus cu cel puțin 25 de procente.

Poate ar fi fost mai amuzant să se descopere o nereușită a mecanicii cuantice. În schimb, Aspect și colegii săi au demonstrat exact acțiunea la distanță pe care Einstein o detesta. Deci în final, toate eforturile de a face comportamentul cuantic mai ușor de înțeles l-au făcut și mai supranatural.

Această comunicare la distanță, posibilă datorită interferențelor undelor asociate fotonilor, a încălcat promisiunea lui Bohr că domeniul mecanicii cuantice se reducea cu strictețe la procesele extrem de limitate la scară atomică. Nelocalizarea era noul termen tehnic la ordinea zilei. Iar prin rateul care l-ar face pe maestru să se răsucescă în mormânt, Paradoxul Einstein-Podolsky-Rosen a devenit *Efectul* Einstein-Podolsky-Rosen.

● Teleportarea particulelor

În 1997, Nicolas Gisin și colegii săi de la Universitatea din Geneva au demonstrat că aria de manifestare a interferenței se extindea până la 11 kilometri. Ei au folosit un cristal pentru a separa fotonii în perechi de fotoni gemeni, cuplați. Două cabluri diferite de telefonie din fibră optică transportau fotonii din Geneva la detectoarele din satele Bellevue și Bernex, situate de o parte și de alta a orașului.

De data aceasta nu se măsurau spinii, ci energiile fotonilor. Acestea trebuiau să aibă anumite valori precise, ceea ce s-a și confirmat. Distanța mult mai mare, în comparație cu experimentul lui Aspect, nu a dat niciun indiciu despre vreo reducere a comunicării dintre particulele gemene. Prin măsurarea cu mare exactitate a timpilor de sosire ai fotonilor, experimentatorii elvețieni au putut demonstra că știrea despre detectarea unuia dintre fotoni ajungea la perechea sa de cel puțin 10 milioane de ori mai repede decât lumina.

„În principiu, n-ar trebui să conteze dacă legătura reciprocă dintre particulele gemene apare când acestea sunt separate de câțiva metri sau de întregul univers”, a afirmat Gisin. Astfel, fizicienii au pășit în secolul al 21-lea încercând să extindă caracterul enigmatic al mecanicii cuantice la scară cosmică. Imaginați-vă un foton care sosește în seara aceasta dintr-o galaxie aflată la un miliard de ani-

lumină depărtare și o sfârșește în ochiul unei bufnițe. Fotonul geamăn, care navighează printr-un vid intergalactic la 2 miliarde de ani-lumină depărtare, poate suferi astfel o pierdere grea. Și asta nu în 2 miliarde de ani, ci instantaneu.

Care e prețul interzicerii deplasării cu o viteză mai mare decât a luminii? Într-un exercițiu de reducere a pagubelor, fizicienii susțin că nicio informație reală nu se transferă prin interconectarea cuantică nonlocală. Dar această explicație nu prea este în acord cu cele mai noi aplicații tehnologice. Când straniețatea cuantică a mers din rău în mai rău, ea a devenit folositoare. Compania de telefonie Swisscom a sprijinit financiar experimentele lui Gisin deoarece era interesată de codurile cuantice ce nu puteau fi sparte, cu ajutorul cărora băncile, de exemplu, ar putea transfera banii în siguranță totală. Schimburile de informație cuantică între așa-ziișii comunicanți ar putea utiliza algoritmi de criptare OTP (One-Time Pad). Echipa lui Gisin a demonstrat ideea în 1995, cu ajutorul unui semnal optic trimis de la Geneva la Nyon, la 23 de kilometri depărtare.

Charles Bennet de la Laboratoarele IBM Thomas J. Watson și Giles Brassard de la Universitatea Montréal au inventat această metodă de criptare cuantică încă din 1984. În 1993 ei au explicat teleportarea prin intermediul conexiunilor cuantice. Aceasta înseamnă distrugerea unui obiect într-un loc și reconstituirea lui în altă parte, în maniera popularizată de serialului TV *Star Trek* – „Teleportează-mă, Scottie!” – cu toate că teleportarea oamenilor nu intra în discuție la acea vreme.

Inițial s-a propus teleportarea fotonilor. Emițătorul și receptorul primesc fiecare câte un foton dintr-o pereche de fotoni cuplați emisă de aceeași sursă. Apoi emițătorul face să interacționeze fotonul ce urmează să fie teleportat cu unul dintre cei doi fotoni cuplați, și face o măsurătoare care distruge ambii fotoni. Rezultatul măsurătorii va fi transmis receptorului pe o cale de comunicare normală.

Acest mesaj va conține o parte din informația necesară pentru adaptarea materialului brut – un foton suplimentar aflat la receptor – într-un foton identic cu cel care este teleportat. Restul informației, care altfel ar scăpa unui detector din cauza principiului incertitudinii, se transmite prin fotonul geamăn aflat la receptor.

În câțiva ani, laboratoarele de pe ambele coaste ale Atlanticului au demonstrat teleportarea fotonilor. Pentru transportul eficient al particulelor masive, inclusiv al atomilor, sunt necesare modalități de conectare a mai mult de două particule. În 2000, fizicienii de la Școala Normală Superioară din Paris au expus o mașină ce putea realiza o asemenea conectare, care combina pulsurile de la atomii în mișcare de rotație pentru a cupla trei particule, și apoi poate mai multe.

● Un leac contra gravitației?

Corelarea cuantică și uluitoarea sa validare a mecanicii cuantice distrug oare toate speranțele că într-o zi comportamentul cuantic ar putea deveni mai acceptabil pentru mintea umană? Nu. Rămâne posibilitatea existenței unei unde pilot, deși și aceasta este o idee neobișnuită. La Oxford, Roger Penrose se întreba dacă

există o limită naturală dincolo de care supranaturalul cuantic să nu mai poată contamina lumea obișnuită.

Bănuia că s-ar putea folosi de gravitație pentru a stabiliza un obiect cu o masă suficient de mare și să risipească astfel ambiguitățile comportamentului cuantic. Penrose a propus un test experimental numit FELIX. Numele se referea la celebra pisică dintr-un paradox descris de Erwin Schrödinger, un remarcabil inițiator al mecanicii cuantice, de origine austriacă. Schrödinger a atras atenția că teoria cuantică permite ca o pisică închisă ermetic într-o cutie să fie în același timp și moartă și vie, până când cineva nu deschide capacul pentru a vedea în ce stare se află pisica.

După părerea lui Penrose, masa pisicii lui Schrödinger ar trebui să fie suficientă pentru a elimina ambiguitatea cuantică, salvându-i astfel viața. Ideea din experimentul FELIX este să se reprezinte pisica printr-un cristal foarte mic care uneori este și alteori nu este lovit de un foton al unei radiații X energetice, care îl face să aibă un mic recul. Conform mecanicii cuantice, trebuie să fie considerat și lovit și nelovit, iar verificările imediate ale comportamentului fotonilor vor confirma existența simultană a ambelor stări.

Iar acum să realizăm acest experiment între doi sateliți ce orbitează la o distanță de 15 000 de kilometri unul de altul. Razele X vor avea nevoie de o zecime de secundă pentru a oscila între ei. Dacă intuiția lui Penrose este corectă, această întârziere ar trebui să-i dea cristalului timp să se stabilizeze într-o unică stare, determinată, astfel încât fotonii care se vor întoarce să sesizeze diferența.

Nu erau mari speranțe ca un astfel de experiment spațial să fie realizat prea curând. Specialiștii în fizica cuantică tradițională erau înclinați să îl considere un efort zadarnic, prezicând că ambiguitatea nu va scădea datorită acelei întârzieri. Pisica, spuneau ei, va rămâne tot moartă și vie totodată, în cutia ei. Dar specialiștii în calcul cuantic de la universitatea lui Penrose, cu păreri individuale pentru și împotriva acestei propuneri, au fost încântați să ofere sprijin experimental pentru dezvoltarea proiectului FELIX.

„Orice experiment care testează experimental bazele mecanicii cuantice este important de realizat”, a spus Artur Ekert, președintele centrului de calcul cuantic de la Oxford. „Roger încearcă să forțeze limitele, și asta este de-a dreptul captivant.”

- Pentru mai multe informații despre undele de materie, vezi **SUPERATOMI**, **SUPRAFLUIDE** și **SUPRACONDUCTOARE**. Pentru informații în plus despre calculul cuantic și criptografie, vezi **BIȚI** și **QUBIȚI**. Pentru rolul mecanicii cuantice în fizica particulelor, vezi **FORȚA ELECTROSLABĂ**, **FAMILIILE DE PARTICULE** și **BOSONII HIGGS**. Pentru încercări de a reconcilia mecanica cuantică cu teoria relativității generale a lui Einstein, vezi **GRAVITAȚIA** și **SUPERCORZILE**.

CONEXIUNI CEREBRALE



Cum își cunosc conexiunile nervoase destinația?

PASIUNEA ÎNDELUNG MOCNITĂ a latinilor pentru cercetarea științifică se regăsește în inegalabila poveste a lui Santiago Ramón y Cajal, care ne-a învățat cum sunt construite creierele umane. El s-a născut în nord-estul Spaniei, în 1852.

Adevărata iubire a lui Cajal a fost desenul, dar trebuia să-și câștige cumva existența. Deoarece nu a excelat în meseria de cizmar și nici în cea de bărbier, el s-a calificat ca medic la Zaragoza. După satisfacerea serviciului militar în Cuba, tânărul doctor economisise destule pesete încât să-și poată cumpăra un microscop vechi cu ajutorul căruia a realizat desene elegante ale fibrelor musculare. Apoi, Cajal s-a căsătorit cu frumoasa Silvería, cu care a avut destui copii care să-i cheltuiască banii.

Mai exact, el nu și-a putut permite un microscop Zeiss decent. Au trecut zece ani până când a câștigat unul drept recompensă civică pentru serviciile eroice din perioada epidemiei de holeră. Între timp, desenele sale microanatomice l-au ajutat să dobândească statutul de profesor, mai întâi la Valencia și apoi la Barcelona.

Toate acestea au fost doar un preambul al unei zile din anul 1887 când, în timpul unei excursii la Madrid, Cajal a văzut un țesut cerebral colorat prin metoda argintului cromat descoperită de Camillo Golgi din Pavia. Celulele nervoase și cele mai fine ramificații ale acestora, de culoare negru-marونیu pe un fundal galben, ieșeau în evidență „la fel de clar ca o schiță făcută cu cerneală chinezească”. Cajal s-a grăbit să ajungă înapoi la Barcelona pentru a folosi metoda de colorare pe segmente ale sistemului nervos. Desenele care au rezultat sunt încă folosite în manualele din secolul al 21-lea.

Golgi a avut un avans de 14 ani, dar Cajal a fost mai inteligent. El și-a dat repede seama că ramificațiile nervoase din țesutul creierului adult sunt prea complicate pentru a fi clar identificate sau reproduse. „Din moment ce pădurea matură se dovedește a fi impenetrabilă și indescritibilă”, a afirmat el, „de ce să nu studiem în schimb pădurea tânără, în stadiul de puiet?”

Cajal a folosit reactivul lui Golgi pentru a colora țesutul cerebral provenit de la embrionii păsărilor și ai mamiferelor. „Planul fundamental al compoziției histologice a materiei cenușii ni se dezvăluie cu o claritate și cu o precizie admirabile”. În 1890, Cajal a făcut publică descoperirea conului de creștere, micul „ber-

bec" aflat la capătul unei fibre nervoase nou-apărute (axon), care își croiește drum prin țesutul interpus pentru a se conecta cu o altă celulă nervoasă.

Cajal s-a întâlnit pentru prima oară cu venerabilul Golgi, „savantul din Pavia”, abia în anul 1906. Aceasta se întâmpla la Stockholm, unde urmau să primească împreună premiul Nobel. În discursul său, Golgi a descris țesutul cerebral drept o rețea extinsă de filamente, asemănătoare unei plase de fire.

Cajal s-a ridicat și l-a contrazis pe Golgi. Creierul este format dintr-un număr mare de celule nervoase individuale, conectate într-un mod complicat dar definibil. Și pentru a dovedi aceasta dincolo de orice îndoială, a scos la iveală frumoasele sale desene.

● Lumea întoarsă cu susul în jos

Este ușor de înțeles de ce „pădurea matură” de nervi l-a indus în eroare pe Golgi. O singură celulă nervoasă se poate conecta cu alte celule prin mii de fibre și primește legături de la tot atât de multe celule. Când o celulă nervoasă se descarcă, ea trimite impulsuri electrice spre toate fibrele ei. La capetele lor se găsesc joncțiuni numite sinapse, care eliberează substanțele chimice ce acționează asupra celulelor-țintă. Unele legături stimulează, altele inhibă, astfel că este de fapt vorba despre a decide dacă o celulă nervoasă ar trebui să se descarce, ca răspuns la mesajele primite. Conexiunile cerebrale oferă printre altele, circuitele necesare pentru a scrie și a citi aceste rânduri.

Controversa Golgi-Cajal a fost reluată în anul 1940, între Paul Weiss de la Chicago și cel mai inteligent student al său, Roger Sperry. Weiss a acceptat reprezentarea lui Cajal a celulelor nervoase interconectate dar, plecând de la imaginea plasei împletite a lui Golgi, și-a imaginat legăturile dintre ele drept o rețea aleatorie. Părțile erau interschimbabile. Numai prin învățare și experiență, credea Weiss, conexiunile dobândeau un scop și un sens.

Sperry s-a ocupat de experimente pe animale timp de 20 de ani și a demonstrat că Weiss nu a avut dreptate – cel puțin nu în totalitate. Circuitele cerebrale sunt în mare măsură înăscute. Într-un embrion în dezvoltare, fiecare fibră nervoasă este „etichetată” și are ținta predeterminată.

Pentru experimentele sale, Sperry a folosit în principal vietăți cunoscute pentru capacitatea lor de regenerare, cum ar fi peștii, broaștele și salamandrele. Dacă le extrăgea ochii și îi pune la loc în orbite, numeroasele fibre ale nervilor optici se reconectau la creier și vederea revenea. Dar dacă ochii ar fi fost roțiți și puși la loc într-un mod greșit, animalul însănătoșit ar fi văzut pentru totdeauna lumea cu susul în jos. Dacă am pune mâncarea într-un loc mai înalt în câmpul său vizual, animalul ar sări invers pentru a ajunge la ea.

Prin urmare, conexiunile nervoase din fiecare parte a retinei se făceau cu zone prestabilite din creier, care știau dinainte ce parte a câmpului vizual le era alocată. În anul 1963, Sperry anunța rezultatele experimentului decisiv, realizat la

Caltech împreună cu Domenica Attardi, în care utilizaseră peștișori aurii. De această dată, cercetătorii au îndepărtat nu numai nervul optic, ci și porțiuni din retinele peștișorilor, lăsând alte părți intacte.

După trei săptămâni, cercetătorii au omorât peștii și le-au examinat creierele. Vopseaua de cupru a evidențiat conexiunile recent refăcute cu culoarea roz, pe fundalul întunecat al vechilor fibre nervoase. Noile fibre s-au conectat direct la regiunile special alocate lor din creier, care corespundeau părților din retină ce au rămas intacte.

Cu toate acestea, dialectica dintre conexiunile înnăscute și cele dobândite ale creierului a continuat. O examinare detaliată a conexiunii vizuale a confirmat ambele puncte de vedere. În timpul unor experimente cu pisici vii anesteziate, desfășurate la Harvard în anul 1960, David Hubel din Canada și Torsten Wiesel din Suedia au testat celule individuale din partea posterioară a creierului, unde este procesată informația vizuală. Fiecare celulă a răspuns unei caracteristici a imaginii din câmpul vizual al pisicii – o linie sau muchia unui plan înclinat, o bară de o anumită lungime, o mișcare într-o anumită direcție etc.

Creierul nu fotografiază o scenă, ci o analizează ca și cum ar fi un cod care trebuie descifrat, și fiecare celulă nervoasă din zona de procesare vizuală este responsabilă pentru o anumită caracteristică abstractă. Celulele sunt aranjate și legate în coloane, astfel încât analiza are loc într-o secvență logică de la o celulă nervoasă la următoarea. Fără conexiuni permanente, un sistem vizual atât de complicat nu ar putea lucra atât de eficient.

Totuși, chiar și acest aspect al funcționării creierului ca un computer este afectat de experiență. Hubel și Weisel au suturat unul dintre ochii unei pisici abia născute, timp de trei luni. Cu ochiul acela ea nu a mai văzut niciodată. Motivul a fost că legăturile nervoase, care s-ar fi dezvoltat normal la început, au rămas incomplete. Vindecarea ulterioară a vederii a fost exclusă deoarece nervii conectați cu ochiul funcțional au preluat conexiunile vizuale nefolosite de către ochiul suturat.

„Mecanismele înnăscute înzestrează sistemul vizual cu legături foarte specifice”, a concluzionat Wiesel, „dar experiența vizuală la începutul vieții este necesară pentru păstrarea și dezvoltarea lor deplină... O astfel de sensibilitate a sistemului nervos la efectele experienței ar putea reprezenta mecanismul fundamental prin care organismul se adaptează la mediul înconjurător pe perioada creșterii și a dezvoltării sale”.

● Nu, creierul tău nu e pe moarte!

Creșterea și conexiunile fibrelor nervoase într-un creier în curs de dezvoltare sunt sub controlul semnalelor chimice. În anii 1950, la Universitatea Washington din St. Louis, Rita Levi-Montalcini și Stanley Cohen au identificat un factor de dezvoltare a nervului care, chiar și prezent în cantități mici, determină o celulă nervoasă să trimită fibre în toate direcțiile. Aceasta s-a dovedit a fi o mică moleculă proteică.

Atât Cajal în anul 1890, cât și Sperry în anul 1963 au reflectat asupra semnalelor chimice care ghidează fibrele nervoase către țintele de pe alte celule cu care ar trebui să se conecteze. Conform studiilor efectuate până la sfârșitul secolului al 20-lea, conul de creștere din vârful unei fibre în creștere întâlnește multe semnale care îl ghidează, unele atrăgându-l și altele respingându-l. Tehnicile biologiei moleculare au dezvăluit treptat identitățile a zeci de molecule de ghidare și aceleași molecule au apărut în mod constant la diferite specii de animale.

O legătură corectă este confirmată de un semnal de întâmpinare de la celula țintă. Dar oricât de complex ar fi un astfel de sistem de conexiune, el trebuie să permită și erori, astfel încât creierul tânăr se dezvoltă prin încercări și erori. Foarte multe celule care nu reușesc să realizeze conexiuni corecte se sinucid, printr-un proces numit apoptoză.

Celulele creierului adult trăiesc mult. Într-adevăr, generațiile anterioare de oameni de știință credeau că în creierul adult nu apar celule nervoase noi, iar pierderile progresive datorate morții celulelor individuale se presupunea că fac parte din procesul de îmbătrânire, care începea încă din adolescență. Această ipoteză s-a dovedit a fi greșită, deși a durat mult timp pentru ca mesajul să aibă efect.

La începutul anilor 1960, Joseph Altman de la Institutul de Tehnologie Massachusetts a făcut un test chimic pe șoareci adulți, pisici și porcușori de Guineea pentru a evidenția celulele nervoase tinere la animalele nou-născute. Testul a avut rezultate pozitive, dar Altman nu a fost luat în seamă. La fel s-a petrecut și în anii 1970 cu Michael Kaplan la Boston și mai târziu la New Mexico. El a identificat, cu ajutorul unui microscop electronic, celule nervoase proaspăt formate în țesutul cerebral adult. Pasko Rakic de la Yale a fost liderul opoziției. „Aceștia poate arată a neuroni în New Mexico”, a zis el, „dar nu și în New Haven”.

Apariția continuă a noilor celule nervoase – cel puțin câteva sute în fiecare zi – a devenit unanim acceptată abia la sfârșitul secolului. Pe atunci, reînnoirea diferitelor tipuri de țesuturi a devenit un subiect la modă, ca și identificarea celulelor stem care păstrau până la o vârstă înaintată opțiunile prezente în embrion. Activitatea propriilor celule stem ale creierului, care produc celule nervoase noi, a fost în cele din urmă acceptată; totuși, mulți cercetători neurologi au considerat-o drept o simplă renovare, așa cum o companie de telefoane și-ar înnoi vechile cabluri.

● Mamele care alăptează își remodelează creierul

Cea mai clară dovadă că aceste conexiuni cerebrale nu sunt determinate o dată pentru totdeauna în timpul primelor luni de viață este oferită de schimbările care au loc în creierul mamelor care alăptează. În 1986, cercetătoarea neurolog de origine greacă, Dionysia Theodosia de la Bordeaux, a descoperit că oxitocina provoacă reorganizarea unei părți a creierului adult. Acesta este hormonul care intră în acțiune la naștere, stimulând alăptarea la oameni și la alte mamifere.

O zonă aflată în profunzimea creierului mamei, numită sistemul hipotalamo-neurohipofizal, este responsabilă cu controlul producerii de oxitocină. În experi-

mentele cu șoareci și șobolani, Theodosia a stabilit că anumite părți din sistem își refac în mare măsură conexiunile pe durata alăptării. Când copiii sunt înțărcați, lactația se oprește și creierul revine la normal.

Continuându-și cercetările timp de mulți ani, Theodosia a urmărit în detaliu procesele de refacere a conexiunilor înainte și după alăptare. A observat că diferiți agenți biochimici acționau pentru a decupla conexiunile preexistente și pentru a ghida și construi noile legături. În esență, regiunile afectate se întorc la comportamentul observat anterior doar la embrioni și la animalele tinere. Cel mai important este rolul oxitocinei de factor declanșator al schimbărilor, mai întâi prin prezența și apoi prin absența sa. De fapt, hormonul manipulează țesutul cerebral pentru a-și controla propria producție.

„După ce am descoperit maleabilitatea creierului adult pe perioada alăptării”, a spus Theodosia, „alții au descoperit modificări similare corelate cu experiența senzorială și cu procesul de învățare. Această maleabilitate surprinzătoare ne dă speranțe că nervii și creierele lezate ar putea fi refăcute. În același timp, am obținut informații fundamentale despre modul în care creierul își face și își reface propriile conexiuni”.

- *Subiectul funcțiilor cerebrale este prezentat în continuare în capitolele IMAGINI CEREBRALE, RITMURI CEREBRALE și MEMORIA.*

CONTINENTE ȘI SUPERCONTINENTE

Jocul cu colaje de la începuturile lumii

- ÎN TURCIA, DIN LOCUL UNDE SE AFLA ODINIOARĂ TROIA, în vest, și până la muntele Ararat, în est, este greu să întâlnești un petec de teren plat. Harababura de lanțuri muntoase i-a uimit pe geologi până când confirmarea derivei continentale, în anii 1960, a deschis calea spre o interpretare modernă. Terenul accidentat este rezultatul derivei microcontinentelor spre țărmul de sud al Eurasiei.

În 1990, Celâl Şengör de la Universitatea Tehnică din Istanbul a reușit să alcătuiască o listă a celor mai importante ciocniri care au determinat formarea teritoriului Turciei cu 90 de milioane de ani în urmă. „Blocul Menderes-Taurus, aflat acum în vestul și în sudul Turciei, s-a ciocnit cu platforma arabă și a fost

acoperit de rocile oceanice venite din nord", a explicat el, „în timp ce un colț al blocului Kirsehir (din Turcia centrală) a lovit fragmentul Rodopi-Pontic și a început să se rotească în jurul acestui pivot în sens invers acelor de ceasornic”.

Detaliile nu contează atât de mult ca savoarea noii geologii „ultramobile”. Şengör a fost unul dintre pionierii ei, alături de fostul său îndrumător de doctorat, geologul britanic John Dewey. Ideea este simplă: se ia o hartă a lumii și se taie de-a lungul lanțurilor muntoase. Se obțin astfel piesele unui colaj ce poate fi rearanjat complet diferit, pentru a descrie continentele și supercontinentele anterioare.

Rolul jucat de coliziunea continentelor în formarea munților este cel mai sugestiv ilustrat de Himalaya și de lanțurile adiacente, formate prin intrarea subcontinentului indian în Eurasia. Prima ciocnire a avut loc în urmă cu 70 de milioane de ani și mișcarea spre nord a Indiei continuă și în prezent. Rămășițele insulelor prinse în coliziune se întâlnesc printre stâncile de pe creastă. Imaginile satelitare prezintă falii enorme în partea asiatică, unde bucăți din acestea sunt date la o parte orizontal, precum sămburii unei lămâi stoarse.

O situație similară în Alpi l-a inspirat pe Eduard Suess, din Viena, să pună bazele tectonicii moderne, la sfârșitul secolului al 19-lea. El a explicat formarea structurilor din scoarța Pământului pe baza mișcărilor orizontale ale maselor continentale. A identificat în Alpi urmele unei mări dispărute, care în trecut separa Italia și regiunea adriatică de Elveția și de Austria.

Suess a numit marea dispărută – Tethys. Cât despre originea fragmentelor continentale, care au venit dinspre mare și s-au ciocnit cu Eurasia, Suess a indicat continentul Gondwana, fragmentat acum în continentele sudice, care au multe fosile în comun. Cuprinse în lucrarea sa în trei volume *Antlitz der Erde (Înfățișarea Pământului)* (1885–1901), ideile lui Suess erau cu mult înaintea vremurilor sale, fiind adoptate și de germanul Alfred Wegener în teoria sa despre deriva continentelor. În viziunea lui Wegener, Gondwana lui Suess fusese odinioară unită cu continentele nordice într-un singur supercontinent, Pangeea.

În reconstituirile actuale Pangeea pare destul de reală, deși cu o viață destul de scurtă, fiind ea însăși formată în urma coliziunilor unor fragmente continentale preexistente. Tethys era o mare care despica dinspre est, ca o pană, inima Pangeei. Materialul continental s-a desprins din Gondwana, de pe țărmul sudic al mării, s-a îndreptat spre Eurasia, în nord, în două etape, formând litoralul Mării Tethys care se întinde din sudul Franței, prin Turcia și Iran, până în sudul Chinei.

Pentru Şengör, evenimentele de pe pământul său natal erau doar un fragment al unui tablou mult mai amplu. Adunând informații din mai multe surse pentru a realiza hărți complete ale pozițiilor continentelor din trecut, el a reconstituit, fragment cu fragment, originea ținuturilor din jurul Mării Tethys. Le-a interpretat ca pe un exemplu extrem de important al formării continentelor prin rearanjarea unor piese deja existente.

În anii 1990, Şengör şi-a îndreptat atenţia asupra proceselor care determină formarea unei noi scoarţe continentale, prin transformarea scoarţei oceanice dense într-un material mai uşor, plutitor. Acest lucru se petrece când fundul unui ocean se scufundă într-o fosă oceanică. Datorită presiunii enorme se formează domuri de granit şi apar erupţii vulcanice. Acreţia de pe coastele vestice ale Americilor, din Alaska până în Anzi, exemplifică expansiunea continentală care este în curs de desfăşurare în prezent.

Şengör a ajuns la concluzia că în Eurasia noua scoarţă s-a format la scară largă în acest mod, prin adăugări la nucleul siberian începând cu 300 de milioane de ani în urmă. Regiunile astfel formate includ Munţii Ural şi un lanţ muntos din Asia Centrală care ajunge până în Mongolia şi dincolo de ea. Urmând din nou exemplul lui Suess, Şengör a numit aceste regiuni Altaide, după măreţul lanţ muntos Altai, care se întinde din Kazahstan până în China.

„Ținuturile din jurul Mării Tethys şi Altaidele acoperă aproximativ jumătate din suprafaţa întregului continent eurasiatic”, nota Şengör. „Acestea sunt centuri muntoase extrem de vechi rezultate în urma coliziunii, având mecanisme complet diferite de operare a «fabricii» de scoarţă continentală.”

● O serie de supercontinente

Contrastul dintre scoarţa oceanică şi cea continentală, rareori ambiguu, constituie caracteristica fundamentală a geologiei vii a planetei Pământ. Litosfera, după cum preferă geologii să numească astăzi scoarţa terestră şi mantaua superioară, are o grosime de la 0 la 100 de kilometri sub oceane şi de la 50 la 200 de kilometri sub continente. Sub ea se află astenosfera, formată din magmă vâscoasă, care lubrifică mişcările laterale ale litosferei. Precum o coajă de ou crăpată, litosfera se despică în diferite plăci.

În timp ce rocile grele, relativ tinere, din litosfera oceanică sunt aproape rigide, continentele sunt mai friabile. Pot fi relativ uşor comprimate pentru a forma lanţuri muntoase sau forfecate pentru a se potrivi mai bine împreună. Pot fi întinse pentru a forma grabene sau vaste bazine sedimentare, în care litosfera se scufundă şi le umple cu straturi groase de sedimente, dând naştere unor roci noi. Dacă există suficientă tensiune, un continent se rupe pentru a permite formarea unui nou ocean între fragmentele sale. Marea Roşie este un ocean incipient care s-a deschis între Africa şi Peninsula Arabică destul de recent la scară geologică.

Continentele sunt asemenea unei zguri uşoare ce pluteşte la suprafaţa metalelor proaspăt topite şi sunt propulsate la întâmplare în urma creşterii sau scăderii oceanelor dintre ele. Litosfera densă a oceanelor se scufundă înapoi sub cea continentală, sub efectul propriei ei greutate, datorită răcirii, reînnoindu-se complet la fiecare 200 de milioane de ani. Dar continentele nu sunt scufundabile, iar atunci când se lovesc nu au unde să se ducă, decât să se încalce sau să ricoşeze.

Mişcându-se în orice direcţie pe suprafaţa Pământului, un continent se va lovi, mai devreme sau mai târziu, de altul. Asemenea impacturi sunt mai puternice

decât procesul de acreție din scoarța oceanică reciclată, în manieră andină sau altaică. Lupta și sfărâmarea care urmează lasă multe linii de falie în scoarța continentală, provocând și alte defecte, care pot fi ulterior scenele unor fisurări sau ale alunecării plăcilor continentale una peste alta. Stricăciunile complică de asemenea și munca geologilor care încearcă să identifice piesele vechiului colaj.

Reconstituirea supercontinentului Pangeea a fost destul de ușoară, odată ce geologii și-au depășit inhibițiile legate de deriva continentelor. Potrivirea formei concave a coastei de est a Americii de Nord cu forma convexă a coastei marocane, precum și a coastei convexe braziliene cu colțul Africii de Vest i-a uimit pe mulți, din momentul în care primele hărți ale lumii au devenit disponibile, în secolul al 16-lea. Fragmentele trebuie doar potrivite la loc, făcând Oceanul Atlantic să dispară, și treaba este pe jumătate făcută.

Estul Africii ne păcălește, deoarece Antarctica, India și Australia ar putea alcătui vechea Gondwana în mai multe moduri. Alan Smith de la Cambridge a sintetizat informațiile despre tipurile asemănătoare de roci, magnetism, fosile precum și dovezi climatice și a aranjat continentele actuale pe computer astfel încât să minimizeze suprafețele lipsă, desenând astfel prima hartă modernă a Pangeei, în 1970. Zece ani mai târziu, realizase o serie de hărți, chiar și animații care arătau nu numai cum s-a divizat Pangeea, ci și cum s-a format aceasta, prin alipirea Americii de Nord, a Siberiei și a Europei la Gondwana. Toate aceste continente se găseau în mod curios înșirate de-a lungul ecuatorului cu 500 de milioane de ani în urmă, a concluzionat Smith.

Pe atunci el era în competiție cu Christopher Scotese, care începuse, în perioada studenției, pe la mijlocul anilor 1970, să realizeze folioscoape¹ care prezentau deriva continentelor într-un fel de animație. La Chicago, și mai târziu la Texas-Arlington, Scotese s-a dedicat paleogeografiei. În 1997, colaborând cu Stuart McKerrow de la Oxford și cu Damien Nance de la Ohio, a reușit să schițeze o hartă a Pământului așa cum arăta acesta în urmă cu 650 de milioane de ani în urmă.

Acea perioadă, cunoscută geologilor sub numele de Vendian, a reprezentat un moment de răscruce în istoria Pământului. Atunci au apărut primele animale pluricelulare – meduzele, penele de mare, viermii. Era perioada în care un supercontinent anterior, Pannotia, începuse să se fragmenteze. De asemenea, Pământul trecea prin perioade de răcire accentuată, când cea mai mare parte a solului și a oceanelor era acoperită de gheață. Harta din perioada vendiană înfățișează o Antarctică străbătută de Ecuator, în timp ce Amazonia, Africa de Vest și Florida se aglomeraseră în apropierea Polului Sud.

„Astfel de hărți sunt cele mai bune jaloane, rapoarte ale progreselor făcute, care descriu cunoștințele și prejudecățile noastre actuale”, comenta Scotese în 1998,

¹ Folioscop – „flip book” în lb. engleză sau „folioscope” în lb. franceză, carte care prezintă pe fiecare pagină același desen, dar cu mici modificări, astfel încât la o răsfoire rapidă se obține un sui-generis desen animat.

la lansarea celui mai recent atlas paleogeografic al său. „Aceste hărți sunt deja depășite din multe puncte de vedere.” Deoarece cunoștințele geologice se îmbunătățesc în permanență, munca unui paleocartograf nu se sfârșește niciodată. Propunerile lor sunt un stimul – o provocare chiar – pentru ceilalți, de a confrunta geologia regiunilor și a perioadelor studiate cu imaginea de ansamblu și de a confirma sau de a modifica ceea ce sugerează hărțile.

Cartografierea trebuie extinsă și mai mult în trecut. Pământul are 4 550 de milioane de ani, și există încă fragmente de scoarță continentală de acum 3 800 de milioane de ani, când s-a încheiat cu bombardament intens cu comete și asteroizi. Înainte de Pangeea de acum 200 de milioane de ani și de Pannotia de acum 800 de milioane de ani, se presupune că au existat și alte supercontinente, în urmă cu 1 100, 1 500 și chiar 2 300 de milioane de ani. Rodinia, Amazonia și Kenora sunt numele propuse pentru acestea dar, cu cât ne îndepărtăm în timp, dovezile în legătură cu existența lor devin tot mai confuze și mai misterioase.

● Un mic colaj numit Europa

O abordare diferită a istoriei continentelor se referă la modul în care s-au format cele actuale, de-a lungul erelor geologice. Continentul studiat cel mai în detaliu până acum este Europa, al cărui colaj s-a dovedit a fi deosebit de complex. Micul continent s-a aflat în prima linie a atâtor coliziuni și rupturi încât prezintă cele mai variate forme de relief de pe planetă.

Nucleul pe care s-a dezvoltat Europa este o rămășiță a vechiului bloc continental format în urmă cu 3 000 de milioane de ani și care se mai întâlnește astăzi în nordul extrem al Finlandei și în Rusia învecinată. Pe acest nucleu s-a dezvoltat Scutul Baltic, definitivat acum 1 000 de milioane de ani, care include regiunea rusească Kola, plus Finlanda și Suedia. O serie de fragmente provenite din Groenlanda și din America de Nord au fost implicate și ele în formarea Scutului Baltic.

Dezvoltarea a continuat ca rezultat al coliziunilor ce au urmat. Europa s-a alipit Groenlandei și Americii de Nord în timpul formării Munților Caledonieni, cu 570 de milioane de ani în urmă. Tot atunci au apărut Norvegia, nordul Germaniei și majoritatea teritoriului Insulelor Britanice. Următoarea mare coliziune, petrecută cu 350 de milioane de ani în urmă, a avut loc cu Gondwana, în timpul evenimentelor hercinice. În urma acestora s-au pus temeliile părții celei mai sudice a Irlandei și a Angliei, împreună cu cea mai mare parte a Spaniei, Franței, Germaniei centrale și de sud, Cehiei, Slovaciei și a sud-vestului Poloniei, plus primele părți ale Alpilor. Apoi, în urmă cu 170 de milioane de ani, au apărut regiunile din jurul Mării Tethys, odată cu ciocnirea insulelor desprinse din Gondwana de coasta sudică a Europei, din Spania și până în Bulgaria.

Această expunere sumară ascunde multe detalii istorice, cum ar fi faptul că pădurile hercinice din Germania au fost sursa marilor rezerve de cărbune de azi, faptul că în falia Mării Nordului s-a acumulat petrol, precum și faza extraordinară

În care Marea Mediterană a secat ca urmare a blocării legăturii sale cu Atlanticul, lăsând în urmă depozite imense de sare. Rotația blocurilor este un alt subiect. Spania, de exemplu, fusese înghesuită în sud-vestul Franței, până când s-a deschis, asemenea unei uși, cu 90 de milioane de ani în urmă, formând Golful Biscaya, ca o extensie a Oceanului Atlantic în expansiune.

De asemenea absente dintr-o listă simplificată a coliziunilor sunt marile alunecări laterale, asemănătoare celor pe care le putem vedea în spatele Himalayei în zilele noastre. Nordul Poloniei, de exemplu, se afla în prima linie a coliziunii cu Canada în perioada evenimentelor caledoniene, dar apoi a alunecat spre est 2 000 de kilometri de-a lungul Faliei Transeuropene. Partea cea mai nordică a Scoției a ajuns în poziția sa actuală din Norvegia, după o călătorie la fel de lungă spre sud-vest. În acest caz, linia de falie este încă vizibilă în Loch Ness și în Great Glenn, precum și într-o vale similară din Newfoundland.

O imagine tridimensională a colajului european a fost realizată prin sondaj seismic care a constatat în declanșarea unor explozii controlate pentru a genera cutremure în miniatură, ale căror ecouri au dat informații despre structura straturilor adânci ale litosferei. La modul serios, acțiunea a demarat în Scandinavia în anii 1970 și a continuat în cadrul proiectului Geotraversa Europeană, desfășurat între anii 1982 și 1990, cu sondări complete de la Capul Nord din Norvegia, de-a lungul Alpilor și Mediteranei, până în Africa. S-a constatat că scoarța groasă de sub vechiul Scut Baltic devenea mai subțire sub Germania, apoi se îngroșa din nou imediat sub Alpi. Prima tranziție de la scoarța groasă la cea subțire corespunde cu Falia Transeuropeană deja menționată.

Odată cu sfârșitul Războiului Rece, investigațiile s-au extins și pe direcția est-vest, în cadrul proiectului Europrobe. Un ambițios experiment seismic, denumit Celebration 2000, a implicat 147 de explozii și 1 230 stații de înregistrare răspândite din vestul Rusiei, trecând prin Belarus, Polonia, Slovacia, Ungaria, Austria și Cehia, până în sud-estul Germaniei, explorând la o adâncime de aproximativ 100 de kilometri.

„Ceea ce aflăm despre istoria și procesele litosferei de sub picioarele noastre, în Europa, ne va ajuta să înțelegem multe alte locuri din lume, de la Arctica până la Antarctica”, spunea Aleksander Guterch de la Academia Poloneză de Științe. „Bazinele sedimentare, de exemplu, joacă un rol important în evoluția continentelor, ca depresiuni din scoarță care au acumulat depozite imense de-a lungul milioanele de ani. Unele bazine sedimentare din Europa sunt ușor de identificat, dar altele rămân ascunse până când vor fi descoperite prin sondări seismice.”

● Și următorul supercontinent?

Rețelele seismice globale analizează adâncurile Pământului, folosind undele cutremurelor naturale, și ne oferă o altă imagine asupra istoriei continentelor. În particular, ele dezvăluie urme ale litosferei oceanice care a dispărut în timpul

comprimării oceanelor dintre continente. Aceste urme apar seismologilor ca niște roci relativ reci în interiorul mantalei fierbinți a Pământului.

Fragmente ale fundului oceanic al străvechiului Pacific, înghițite de mișcarea spre vest a Americii de Nord în timpul ultimilor 60 de milioane de ani, se găsesc acum la mare adâncime sub Marile Lacuri și chiar sub New England. Prin contrast, sub Asia, vechile blocuri oceanice mai dăinuie încă sub locul dispariției lor. De exemplu, în urmă cu 150 de milioane de ani, continentele-insulă ale Mongoliei, Chinei și Omolonului (vârful estic al Siberiei) s-au lovit de Blocul Siberian, care era deja unit cu Europa de-a lungul liniei Munților Ural. Impactul noilor fragmente a creat lanțuri muntoase încovoiate, care se întind de la est de Lacul Baikal spre mare și apoi spre nord prin lanțul muntos Verhoiansk.

Cimitirul de fragmente continentale pierdute în urma acestor coliziuni păstrează dovezile acțiunii lente de asamblare a următorului supercontinent în jurul Eurasiei, care este staționară momentan. Africa este deja în apropiere. Probabil că Australia și Americile se vor alătura și ele acestei aglomerări în următorii 100 de milioane de ani.

- Pentru detalii despre sondările seismice ale interiorului Pământului și despre mecanismul derivei continentelor, vezi **MIȘCĂRILE PLĂCILOR TECTONICE**. Pentru efectele derivei continentelor asupra evoluției animalelor, vezi **DINOZAUROI** și **MAMIFERELE**.



CRIOSFERA

Calotele glaciare, ghețarii marini și cei montani
spun o poveste uimitoare

PENTRU UN AVENTURIER, NIMIC NU SE COMPARĂ CU O SĂRBĂTOARE DE HOGMANAY¹ pe gheața de la Polul Sud. Asta în cazul în care turistul suportă altitudinea, vreo 3 000 de metri deasupra nivelului mării, și temperatura în jur de -27°C . Vreo 250 de suflete trăiesc la baza Amundsen-Scott pe timpul verii australe și petrecerea lor din ajunul Anului Nou începe prin a-i privi pe experți stabilind polul geografic. Apoi, cineva cu un entuziasm debordant s-ar putea învărti în jurul noului pol în sens invers acelor de ceas, timp de 24 de ore, sărbătorind astfel Anul Nou pe rând, în toate fusurile orare.

¹ vechiul nume, în Scoția, pentru ajunul Anului Nou.

Noul pol se află la zece metri față de poziția pe care o avea cu 12 luni în urmă. Și asta deoarece gheața se mișcă în întregime față de polul geografic, definit de axa de rotație a Pământului. Din fericire pentru noi, chiar și la capătul cel mai friguros al planetei, gheața alunecă lent sub influența propriei greutate, la fel ca un ghețar. Treptat, ea redă oceanului apa pe care platforma glaciară a împrumutat-o după ce a primit-o sub formă de ninsoare. Dacă gheața ar fi puțin mai rigidă, planeta noastră ar arăta groaznic, după cum a presupus odinioară geologul Arthur Holmes din Edinburgh.

„Practic toată apa oceanelor ar fi blocată în câmpuri circumpolare de gheață având o grosime colosală”, scria Holmes. „Ținuturile tropicale ar fi deșerturi de nisip și piatră, iar fundul oceanelor ar adăposti vaste câmpii de sare. Viața ar exista doar la marginea câmpurilor de gheață sau în rarele oaze alimentate de izvoare subterane.”

Calotele glaciare din Antarctica și Groenlanda acumulează zăpezile anilor trecuți în straturi având o grosime de unu sau doi kilometri deasupra rocii de bază. Ele alunecă treptat către mare, unde gheața fie se topește, fie se sparge în bucăți uriașe, formând aisberguri. Cei mai mari astfel de ghețari plutitori, de dimensiuni ce depășesc 100 de kilometri, provin din banchizele plutitoare care rezistă la marginile calotei glaciare antarctice timp de mii de ani înainte de a se desprinde. Cel mai mare ghețar de șelf, Ross, întrece în dimensiune întregul teritoriu al Franței.

În general, cantitatea de apă reîntoarsă în oceane este echivalentă cu cantitatea de zăpadă acumulată în interiorul uscatului. Calotele glaciare de pe uscat rețin cam două procente din totalul de apă al planetei, majoritatea în Antarctica, unde calota glaciară acoperă o suprafață mai mare decât a Statelor Unite. Ca rezultat, nivelul mării este cu 68 de metri mai scăzut decât ar fi trebuit să fie.

În timpul unei ere glaciare, balanța se înclină puțin spre lumea dezagreabilă a lui Holmes. Calote glaciare uriașe se formează în America de Nord și în Europa, lanțurile muntoase din alte părți sunt acoperite cu straturi groase de gheață, iar nivelul mării scade în continuare cu încă 90 de metri sau chiar mai mult. Dar scurgerea lentă a gheții către mare nu se oprește niciodată.

Chiar și în perioadele relativ calde, cum ar fi perioada actuală numită holocen, gheața polară se comportă asemenea unui frigider pentru întreaga lume. Și nu este vorba numai despre gheața continentală. Banchizele plutitoare acoperă suprafețe întinse din Oceanul Sudic ce înconjoară Antarctica, și din Oceanul Arctic și din mările adiacente. Ele își extind suprafața iarna și se topesc la loc vara.

Albul gheții, de pe uscat sau de pe apă, reflectă lumina solară care altfel ar fi încălzit regiunea. Diferența permanentă de temperatură dintre tropice și poli antrenează vânturile planetei. Vara, la latitudini medii, vânturile sunt mai slabe decât iarna, deoarece diferența de temperatură este redusă de influența Soarelui pe perioada zilei polare. Aceasta ne poate da o idee despre cât de blânde ar fi

vânturile dacă nu ar exista câmpurile de gheață din apropierea polilor – ceea ce s-a petrecut destul de des în trecut.

Calotele glaciare continentale și banchizele, împreună cu lacurile și râurile înghețate și ghețarii montani care există chiar și la tropice, formează criosfera. Ea este o componentă foarte importantă a sistemului planetar, alături de atmosferă și de hidrosferă. Pe măsură ce oamenii de știință se străduiesc să afle cum și de ce se modifică criosfera, ei mai trebuie să descifreze și mecanismul cauzal al acestor schimbări. Întotdeauna există o ambiguitate în acest domeniu: modificările criosferei generează o schimbare globală sau, din contră, sunt un răspuns la aceasta?

La începutul secolului al 21-lea, modificările climatice erau în centrul atenției. O ipoteză demnă de luat în seamă presupunea că regiunile polare ar trebui să se încălzească rapid, în concordanță cu modelele computerizate care prognoza încălzirea generală a climei, sub influența gazelor cu efect de seră produse de activitățile umane, și care au ca efect reducerea emisiei de căldură în spațiu. Au existat și păreri conform cărora calotele glaciare ar contribui la creșterea curentă a nivelului apei oceanelor, ca urmare a topirilor accelerate. Alternativ, calotele glaciare ar putea crește datorită ninsorilor abundente, reducând sau chiar inversând creșterea nivelului oceanului planetar.

● Se topește Antarctica?

În legătură cu calota glaciară din vestul Antarcticii există unele temeri, în special. Aceasta este peninsula care prelungește continentul principal spre America de Sud, precum coada literei Q. În 1973, George Denton de la Maine a sugerat că platforma glaciară vest-antarctică s-ar putea topi în totalitate, ridicând nivelul mării cu aproximativ cinci metri în întreaga lume. Acest proces s-ar putea petrece în câteva secole, afirma el. Când un reporter a întrebat dacă ar fi cazul ca olandezii să înceapă să-și construiască arce, Denton a răspuns: „Nu, dar ar trebui să se gândească de unde vor face rost de lemn”.

Expedițiile științifice în lumea ghețurilor sunt încă o aventură, și ele furnizează doar date provizorii. Chiar și la bazele polare permanente se realizează doar o cercetare locală. Evaluarea globală a modificărilor criosferei era practic imposibil de realizat înainte de era spațială. Cercetarea polară nu era însă o prioritate pentru agențiile spațiale, așa că oamenii de știință au avut mult de așteptat până când au fost instalate instrumentele necesare pe sateliții ce survolau polii.

Un studiu temeinic a început abia în 1991, odată cu lansarea satelitului de observare a Pământului ERS-1 al Agenției Spațiale Europene (ESA) care putea monitoriza gheața cu ajutorul radarului. Spre deosebire de camerele video care supravegheau suprafața doar în lumină din spectrul vizibil, radarul putea opera chiar dacă era înnoțat sau pe timpul întunecatei nopți polare. Un instrument de pe ERS-1 era un simplu radar cu altimetru, care transmitea unde radio spre suprafața terestră și măsura timpul de întoarcere a ecoului de la sol. Acesta era

capabil să detecteze variații ale grosimii calotelor glaciare din Groenlanda și Antarctica.

Pentru examinarea detaliată a zonelor alese, ERS-1 folosea un radar cu apertură sintetică. Împrumutând o tehnică inventată de radioastronomi, acesta construia o imagine din observații repetate ale aceleiași zone, pe măsură ce satelitul înainta pe orbită. Instrumente similare au fost amplasate pe succesorii lui ERS-1, ERS-2 (1995) și Envisat (2001).

În unele locuri, modificările erau evidente. Savanții britanici au combinat datele obținute de radarul cu altimetru cu imagini preluate de radarul cu apertură sintetică ale ghețarului Pine Island din vestul Antarcticii. Ei au observat că între anii 1992 și 1999 gheața s-a subțiat cu până la zece metri de-a lungul celor 150 de kilometri ai ghețarului, care s-a retras cu cinci kilometri spre interiorul continentului.

Observațiile cu radare asupra întregii Antarcticii erau însă mai puțin convingătoare. În timp ce în unele zone s-a măsurat o scădere a grosimii calotei glaciare, aparenta pierdere era compensată de o creștere a acesteia altundeva. Nu s-a înregistrat nicio modificare globală a calotei glaciare, nici în Antarctica, nici în Groenlanda.

Mai mult, pentru anumite zone-cheie nu exista nicio evaluare demnă de încredere asupra evoluției calotei. Era necesară o tehnică mai performantă. Agenția Spațială Europeană a demarat construcția satelitului CryoSat² care urma să fie lansat în 2004. Dedicat exclusiv studiului criosferei, acesta urmează să fie dotat cu două altimetre plasate la o distanță de un metru de o parte și de alta a direcției de deplasare a satelitului. Combinând cele două tehnici de detecție, altimetria și cea a radarului cu apertură sintetică, cercetătorii așteptau măsurători de altitudine mult mai corecte, mediate pe zone mult mai înguste.

„Dacă marile calote glaciare din Antarctica și Groenlanda se modifică, aceasta se întâmplă cel mai probabil la marginile lor”, a explicat glaciologul Duncan Wingham de la University College din Londra, coordonatorul proiectului CryoSat. „Dar calotele glaciare se termină în pante, pe care radarele cu altimetru le citesc ca pe o mediere brută de-a lungul a 15 kilometri de gheață. Cu ajutorul altimetrelor gemene de pe CryoSat, vom reduce această distanță la 250 de metri.”

Radarsat-1, un satelit canadian lansat în 1995, a anunțat câteva surprize ce urmau să vină. Cercetătorii din California au utilizat radarul cu apertură sintetică de pe Radarsat-1 pentru a examina temuta calotă glaciară din vestul Antarcticii. Ian Joughin de la Jet Propulsion Lab și Slawek Tulaczyk de la UC Santa Cruz și-au concentrat atenția asupra ghețarilor care alimentează ghețarul de șelf Ross. Radarul a arătat că, departe de a se topi, regiunea acumulează tot mai multă gheață, și asta într-un ritm alert. Datorită observațiilor din spațiu, scenariul lui Denton referitor la topirea părții vestice a Antarcticii părea a fi infirmat.

² Satelitul CryoSat s-a prăbușit chiar la lansarea sa, în 8 octombrie 2005. Agenția Spațială Europeană are în plan lansarea în 2009 a lui Cryosat-II. (n.red.)

În general, calotele glaciare par a fi indiferente la fluctuațiile minore ale climei, așa cum s-a întâmplat în secolul al 20-lea. Ele joacă într-o altă ligă, în care meciurile durează zeci de mii de ani. Principalele caracteristici includ creșterea lor în timpul erelor glaciare, urmate de retrageri în perioadele de pauză mai călduroase, cum este holocenul în care trăim și noi. Denton credea că platforma glaciară vest-antarctică încă recuperează marele dezgheț de după ultima eră glaciară.

Era aproape de adevăr. Dovezi recente indică faptul că platforma glaciară vest-antarctică s-a mai topit și s-a micșorat până acum câteva sute de ani. Dar Pământul a depășit punctul maxim de încălzire al holocenului în urmă cu 5 000 de ani și se îndreaptă din nou, treptat, spre următoarea eră glaciară. Acumulările de gheață înregistrate acum în vestul Antarcticii ar putea reprezenta o recunoaștere târzie a acestei noi tendințe de evoluție, începută încă din Epoca Bronzului. Joughin și Tulaczyk sugerau într-o doară: „Acest fenomen reprezintă o inversare a retragerii pe termen lung specifică holocenului.”

● Contradicțiile banchizelor

Banchizele care se formează pe mările polare, având o grosime de câțiva metri, răspund mult mai repede decât calotele glaciare continentale la schimbările climatice – chiar și la variațiile anuale de temperatură. Evident, pentru a se forma, gheața necesită o temperatură foarte scăzută la suprafața mării. La fel de evidentă este și scăderea aportului de căldură al Soarelui, deoarece gheața respinge razele solare înapoi în spațiu, amenințându-și vizitatorii cu orbirea. Mai puțin evident este efectul de izolator termic al gheții în timpul iernii, efect care previne pierderea căldurii apei de sub gheață.

Înregistrările istorice ale extinderii banchizelor din apropierea Islandei, Groenlandei și a altor teritorii populate din vechime le oferă climatologilor informații valoroase și imagini detaliate ale prețului schimbărilor climatice pe care-l plătim noi, oamenii. În secolul al 15-lea, de exemplu, la începutul Miciei Ere Glaciare, coloniștii vikingi din Groenlanda au fost complet izolați de către banchize. Ei au pierit atunci cu toții, supraviețuind doar eschimoșii, nativi din Groenlanda, mult mai adaptabili.

Ca și calotele glaciare continentale, banchizele sunt la fel de neospitaliere prin natura lor, așa că informațiile despre ele erau sumare înaintea erei spațiale. Navigatorii înregistrau pozițiile marginilor banchizei, iar echipele de cercetători se aventurau uneori în interiorul ei cu spărgătoare de gheață sau pe insule de gheață în derivă. Avioanele inspectau banchizele de gheață de deasupra, iar submarinele de dedesubt. Dar acestea erau observații locale și provizorii. Informații concludente despre partea mobilă a criosferei și schimbările sale continue au fost obținute abia ulterior, din imaginile oferite de sateliți.

Pe perioada ultimilor douăzeci de ani ai secolului al 20-lea sateliții au înregistrat o creștere a suprafeței banchizei antarctice cu aproximativ două procente. Deși

această evoluție era în contradicție cu prognozele climatologilor, ea era confirmată de măsurătorile de temperatură furnizate de stațiile din Antarctica, care indicau o răcire globală. În timpul iernii antarctice de la jumătatea anului 2002, navele de aprovizionare a bazelor polare au fost împiedicate să ajungă la destinație și blocate de o răspândire neobișnuită a banchizelor de gheață.

Pe de altă parte, în Oceanul Arctic suprafața banchizelor s-a diminuat în timpul celor două decenii cu aproximativ șase procente. Informațiile culese de submarine în timpul Războiului Rece au condus la concluzia că banchiza arctică s-a subțiat de asemenea. Această concluzie a scos în evidență insuficiența datelor obținute de sateliți. Extinderea suprafeței banchizei era relativ ușor de văzut din spațiu. Scaterometrele radar, concepute să detecteze valurile oceanice și să măsoare astfel viteza vânturilor, puteau de asemenea să monitorizeze și mișcările banchizei. Însă determinarea grosimii acesteia și implicit calculul masei sale erau sarcini mult mai dificile.

În anii 1990, acestea au revenit radarelor cu altimetru. Doar cu puțin noroc, din când în când, tehnica spațială era destul de exactă pentru a măsura grosimea banchizei, după înălțimea de gardă de deasupra apei. Dacă se dorea o apreciere corectă a topirii anuale a banchizei, era necesar un sistem radar mult mai performant. Și în direcția aceasta cercetătorii europeni sperau să reușească cu proiectul CryoSat.

„Cum să ne dăm seama dacă se topește gheața, când noi nici nu știm cât de multă gheață este?”, se întreba Peter Lemke de la Institutul Alfred Wegener din Bremerhaven, membru al echipei de cercetare. „Proiectul CryoSat va transforma informațiile noastre sumare, locale, despre grosimea stratului de gheață, în cunoștințe generale. Vom măsura scăderea sau creșterea anuală a stratului de gheață fie și numai cu câțiva centimetri. Informațiile furnizate de CryoSat vor îmbunătăți considerabil modelele computerizate, fie pentru a prezice starea gheții pentru navigatori, fie pentru a studia schimbările globale ale climei.”

Sateliții pot să detecteze și emisiile naturale de microunde ale apei înghețate sau lichide de pe Pământ. Un proiect înrudit cu CryoSat este SMOS, misiunea pentru studierea umidității solului și a salinității oceanului (2006). Acesta va capta microundele emise de zăpadă și de gheață, cu o lungime de undă mai mare decât cele captate de misiunile spațiale anterioare, și ar trebui să fie capabil să diferențieze un strat subțire de gheață de zăpada depusă pe el.

Va observa viitoarea sondă spațială micșorarea banchizei arctice? Expedițiile impetuoase ale vikingilor care au colonizat Islanda, Groenlanda și probabil și America de Nord au fost facilitate de clima blândă de acum 1 000 de ani. Cei care speră să apară o rută maritimă mai scurtă și mai directă între Europa și Orientul Îndepărtat, pe lângă coasta nordică a Rusiei, așteaptă cu interes o posibilă revenire a acestor condiții climatice, caracterizate de o importantă reducere a suprafeței banchizei.

Exploratorii suedezi au navigat pe acolo între 1878–1879, dar ruta nu a fost preluată de toți navigatorii. Începând cu anii 1990, experți din 14 țări, în frunte cu Norvegia, Rusia și Japonia, au încercat să revitalizeze interesul pentru această rută prin Marea Nordului. Chiar dacă gheața arctică va continua să se subțieze, cargourile tot vor trebui echipate ca spărgătoare de gheață.

● De veghe printre ghețarii montani

Numele Himalaya înseamnă „casa (locul) zăpezii” în sanscrită, iar numeroșii săi ghețari alimentează râurile sacre Gange și Brahmaputra. Acești ghețari au fost destul de sumar cartografiați, până când Qin Dahe de la Agenția Meteorologică Chineză a folosit imagini satelitare și fotografii aeriene pentru a le trasa limitele. Multe alte locuri îndepărtate adăpostesc asemenea râuri pe care gheața alunecă lent, și care nu sunt ușor de monitorizat. Numărul total al ghețarilor din lume depășește 160 000.

În calitate de termometre climatice, ghețarii montani din regiunile nepolare au un timp de reacție intermediar, între cel al calotelor glaciare continentale lente și cel al banchizelor rapide. Din acest motiv ar trebui să ilustreze bine direcția schimbărilor climatice actuale pe o scală de timp de la 10 la 100 ani. În secolul al 20-lea ghețarii s-au aflat preponderent în proces de diminuare, topindu-se și retrăgându-se în susul văilor. Dar în unele zone au avansat, datorită cantității crescute de zăpadă primite de izvoarele lor montane.

În Alpi oamenii aproape că au ghețari în curțile din spatele caselor. În timpul Micii Ere Glaciare, unele păduri și sate au fost rase de pe fața pământului. Retragera a început în secolul al 19-lea, iar acum se poate compara peisajul actual cu vechile imagini și fotografii pentru a vedea cât anume din fiecare vale a revenit la viață. Colectarea sistematică a informațiilor despre ghețarii din lumea întreagă a început în 1894, iar monitorizarea continuă cu ajutorul instrumentelor moderne, incluzând sateliții teledetectori.

„În prezent, urmărim ghețarii mai ales pentru a găsi dovezi ale efectelor de încălzire datorate gazelor cu efecte de seră produse de om”, remarca Wilfried Haeberli de la Universitatea din Zürich, Elveția, care conduce Serviciul Mondial de Monitorizare a Ghețarilor. „Însă aproape jumătate din gheața din Alpi a dispărut între 1850 și mijlocul anilor 1970, așadar trebuie să presupunem că majoritatea acestei pierderi s-a datorat schimbărilor climatice naturale. Au fost, de asemenea, perioade de încălzire în trecut, comparabile cu cele din secolul al 20-lea, ca acum 5 000 de ani când a murit Omul de Gheață din Oetzel, al cărui trup a fost găsit perfect conservat în Alpii Austrieci în 1991. Ceea ce trebuie să ne preocupe acum este posibilitatea ca schimbările actuale să conducă la depășirea maximelor de temperatură înregistrate în trecut.”

Cea mai importantă provocare pentru climatologi este să distingă între schimbările naturale și cele provocate de om. De aceea au nevoie de mai multe informații

despre cum au evoluat ghețarii în trecut, înainte ca influența oamenilor să se facă simțită. Ghețarii împing la vale mormane de pietre și trene de grohotiș, numite morene terminale, care rămân și după retragerea lor.

Morenele au ajutat la cartografierea întinderii gheții în erele glaciare trecute. Ele au păstrat, de asemenea, înregistrări ale repetatelor avansări sau retrageri ale ghețarilor alpini din ultimii 10 000 de ani. Acestea pot fi asociate cu procesele de răcire manifestate prin înmulțirea explozivă a aisbergurilor și creșterea suprafeței banchizei din Atlanticul de Nord, cunoscute ca fenomene glaciare, care par a fi determinate, la rândul lor, de modificări ale comportamentului Soarelui.

Informațiile confuze și uneori contradictorii pe care le avem despre criosferă sunt simptome ale oscilațiilor ei între procesele de răcire și de încălzire, desfășurate pe diferite scale de timp. Acum, la începutul secolului al 21-lea, nu mai e cazul să fim dogmatici în privința actualelor schimbări și a efectelor lor asupra nivelului mării. Cu tot ajutorul primit de la sateliți, noile generații de cercetători vor trebui să îmbrace echipamentul polar pentru a continua investigațiile.

- Pentru mai multe detalii despre calota glaciară planetară, vezi **SCHIMBĂRI CLIMATICE** și **FENOMENE GLACIARE**.

CRISTALE DE PLASMĂ



Cum poate o forță nou descoperită să dea putere prafului

"D ECI ÎȚI MĂTUR HORNUL și dorm în funingine", se lamenta copilul Revoluției Industriale în poemul lui William Blake. Două secole mai târziu, una dintre cele mai murdare meserii era curățarea aparaturii folosite la experimentele de fuziune nucleară controlată. Oferind rezerve abundente de energie în secolul al 21-lea, mașinile numite tokamakuri se murdăreau cu un praf negru. Acesta era produs, uneori cu lopata, când particulele de înaltă energie rătăcite extrăgeau atomii din pereții interni ai camerei de reacție. Un astfel de reactor de fuziune nucleară funcționând la capacitate maximă producea tone de praf radioactiv.

Încă de când au aprins pentru prima dată lemne de foc, oamenii au regretat eficiența cu care combustibilul lor producea funingine, dar nimeni nu a considerat că era nevoie de vreo explicație. Abia spre sfârșitul secolului al 20-lea fizicienii au înțeles mecanismul apariției funinginii și a altor tipuri de praf. Producătorii de

microcipuri au creat, cu atenție și cheltuială, camere curate, pentru ca să descopere apoi că procesele de fabricare a acestora, în care se foloseau fascicule de particule atomice, produceau praf de siliciu care distrugea multe cipuri. Ca și muncitorii murdari ce curățau aparatura nucleară, ei au realizat că se întâmpla ceva ciudat.

Un factor comun al tokamakurilor și al fabricilor de microcipuri era coexistența prafului și a gazului ionizat în ceea ce fizicienii numesc „plasmă prăfoasă”. Și astronomii și specialiștii în științe spațiale au întâlnit plasmă prăfoasă. Ele apar în apropierea stelelor pe cale de dispariție care elimină elementele chimice nou formate și în norii interstelari în care se adună astfel de substanțe. În jurul stelelor recent formate, plasmă prăfoasă asigură materia din care se formează planetele.

În sistemul nostru solar, cometele ejectionează cozi de praf în vântul solar electrizat. Praful se acumulează în planul în care planetele orbitează și este vizibil câteodată după apus, sub forma luminii zodiacale. Și examinarea inelelor de praf ale lui Saturn, realizată cu ajutorul celor două nave spațiale Voyager ale NASA în 1980, a indicat variații foarte rapide în structura inelelor care nu puteau fi explicate atunci.

În 1986, un fizician specialist în fuziune nucleară de la General Atomics din California, Hiroyuki Ikezi, a analizat ce se putea întâmpla când mai multe particule de praf cu sarcină electrică sunt confinate într-un gaz ionizat, sau plasmă. El a bănu-it că particulele de praf s-ar putea ordona în șiruri, straturi și rețele tridimensionale regulate, ca și atomii dintr-un cristal obișnuit, deși la o scară mult mai mare. Însă el nu a explicat de ce o astfel de structură este stabilă. Într-adevăr, ne-am așteptat ca particulele de praf să se încarce electric și să se respingă reciproc.

Rețeleleordonate propuse de Ikezi ar fi stabile doar dacă plasma prăfoasă ar genera cumva o forță constrângătoare proprie, care să mențină particulele laolaltă. Dar dacă ar exista o asemenea forță, ar putea fi vorba despre o stare a materiei necunoscută până atunci, constituită din acumulări de particule de praf asemănătoare lichidelor sau cristalelor. Acestea au fost denumite cristale de plasmă.

● Forța de umbră

Ideea unei forțe speciale care acționează în plasmă prăfoasă a trezit interesul astronomilor de la Institutul Max Planck pentru Fizică Extraterestră de la Garching, lângă München. Ei au fost uimiți de producerea extraordinară de rapidă a prafului în preajma stelelor muribunde. Se aștepta ca atomii elementelor nou create și degajate în spațiu de către stele să se combine pentru a alcătui particule microscopice de carbon, minerale și gheață. Dar, conform teoriilor tradiționale, particulele ar crește foarte încet, atom cu atom, timp de milioane de ani. Deși formarea prafului trebuie să înceapă foarte încet, ceva anume accelera creșterea ulterioară a particulelor, reducând timpul necesar.

Dintre componenții principali ai plasmei murdare din jurul unei stele muribunde – electronii, ionii pozitivi și particulele de praf – electronii sunt cei mai mobili.

Prin urmare, praful adună un număr disproporționat de electroni pe suprafața sa și dobândește astfel o sarcină electrică predominant negativă. Alternativ, lumina puternică ultravioletă de la stea sau de la vecinii ei ar putea extrage electronii din particulele de praf, generând astfel sarcini predominant pozitive.

În oricare din aceste situații ne-am aștepta ca particulele de praf să se respingă reciproc, conform legilor electrostaticii învățate la școală. Totuși, dovezile astronomice tot mai multe au demonstrat că această idee era complet greșită. Particulele de praf din apropierea stelelor muribunde ar putea ajunge la dimensiunea de un milimetru în doar câteva decenii. Deci, departe de a încetini comasarea prafului, plasma accelerează acest proces, sustrăgându-se repulsiei electrostatice. Prima revizuire a teoriei este să reprezinte fiecare particulă de praf cu sarcină negativă atrăgând un nor de atomi ionizați pozitiv în jurul ei, care neutralizează sarcina și îndepărtează obstacolul ce împiedică gruparea particulelor. A apărut apoi ideea și mai interesantă că atunci când particulele de praf se apropie una de alta în plasmă, între ele apare o atracție reciprocă. Experții numesc aceasta forța de umbră.

Un iaht de curse generează un curent de aer contrar vântului numit „umbră”, care poate frâna un rival ce încearcă să-l depășească pe partea adăpostită de vânt. În plasmă, echivalentul vântului bate din toate direcțiile, sub forma atomilor care se mișcă aleator generând presiune. Fiecare particulă de praf își „umbrește” vecinii, reducând presiunea la suprafețele de contact, astfel încât presiunea rămasă asigură coeziunea particulelor. Norul de atomi ionizați din jurul fiecărei particule de praf face ca suprafața sa de navigare să fie mai mare.

Puterea forței de umbră depinde de dimensiunile particulelor și de distanțele dintre ele. Dacă se dublează dimensiunea, forța electrică repulsivă crește de patru ori, însă forța de umbră, de coeziune a particulelor, va fi de 16 ori mai mare.

Dacă înjumătățim distanța dintre particule, forța crește de patru ori. Este aceeași lege matematică ca în cazul forței gravitaționale a lui Newton. Într-adevăr, în secolul al 18-lea, fizicianul elvețian Georges-Louis Le Sage a încercat să explice gravitația prin forța de umbră. El și-a imaginat spațiul plin cu corpusculi ce se deplasează rapid în toate direcțiile, fiind însă blocați de corpuri masive, astfel încât corpusculii erau împinși unul spre altul.

Pe măsură ce particulele din plasma de praf se apropie reciproc, norii lor de atomi ionizați pozitiv se contopesc și, în final, particulele se resping. Atunci ele se așază în spațiu ca atomii într-un cristal, dar la o scară mult mai mare – de obicei o fracțiune dintr-un milimetru, sau de un milion de ori dimensiunea unui atom. În aceste condiții se formează cristalele de plasmă.

● „O experiență stimulatorie”

Gregor Morfill de la Institutul Max Planck din Garching intenționa să producă cristale de plasmă, dar a prevăzut și dificultățile unui astfel de experiment.

Particulele de praf sunt influențate de gravitație. De aceea el a propus, în 1991, ca Experimentul Plasmei Cristaline (*Plasmakristallexperiment*) să fie realizat în condiții de imponderabilitate, pe Stația Spațială Internațională, care era proiectată atunci. Zece ani mai târziu, datorită cooperării cercetătorilor ruși, aparatul lui Morfill a făcut parte din primul experiment de fizică desfășurat pe Stație.

Între timp, un doctorand din grupul lui Morfill, Hubertus Thomas, a reușit să obțină cristale de plasmă la sol. El a folosit levitația electrică pentru a compensa gravitația, reușind astfel să mențină particulele microscopice suspendate într-o plasmă ionizată de argon, într-o cutie cu lățimea de 10 cm. Particulele s-au așezat spontan într-o formă ordonată asemănătoare fagurelui de miere, ca și atomii dintr-un cristal, dar la o distanță de o fracțiune de milimetru una de alta. Iluminate cu gaze laser, uimitoarele obiecte puteau fi văzute cu ochiul liber.

Cercetătorii de la Garching nu au fost singurii care au produs cristale de plasmă la sol. Independent de ei, alte echipe din Taiwan, Japonia și Germania au înregistrat succese asemănătoare. În 1996, o echipă de la Institutul de Fizica Densităților de Energie Înalte din Rusia producea deja cristale de plasmă printr-o tehnică diferită. În locul unui generator de frecvență înaltă pentru ionizarea gazului, cercetătorii ruși au folosit descărcarea în curent electric continuu.

În acele prime experimente cristalele de plasmă erau plate, datorită condiției de levitație. Echipa de la Garching a întreprins apoi teste preliminare în condiții de imponderabilitate, realizabile în cadrul zborurilor de scurtă durată ale rachetelor și în aeronave aflate în cădere liberă. S-a confirmat astfel că, așa cum a prezis Morfill când a propus experimentele pe Stația Spațială, cristalele de plasmă tridimensionale puteau fi produse în spațiu.

„Plasma este cea mai dezorganizată formă a materiei – aceasta este convingerea comună”, a afirmat Morfill. „De aceea descoperirea faptului că ea poate exista și în formă cristalizată a fost o mare surpriză. Într-un domeniu relativ nou de cercetare cum este fizica plasmei trebuie să te aștepti la surprize, dar te gândești mereu că marile descoperiri vor fi făcute de alții. Să vezi cu ochii tăi cum are loc cristalizarea plasmei, pentru prima dată, a fost o experiență stimulatorie.”

Coordonatorul din partea echipei ruse al experimentului de pe Stația Spațială Internațională, Anatoli Nefedov, de la Institutul de Fizica Densităților de Energie Înalte din Rusia, a murit cu doar câteva săptămâni înainte ca operațiunile spațiale să înceapă, în martie 2001. În memoria lui, proiectul a fost redenumit *Plasmakristallexperiment-Nefedov* (PKE-Nefedov). Supravegheate de cosmonauți, o mulțime de experimente au oferit cercetătorilor de la sol filme și măsurători ale comportamentului cristalelor de plasmă în condiții de imponderabilitate. Ei puteau vedea materia acționând în moduri care înainte erau doar schițate sau lipseau complet.

În spațiu, cristalele de plasmă se formează de obicei cu găuri în mijloc, ca și gogoșile inelare „donut”, iar marginile găurilor sunt foarte ascuțite. Dacă un

defect umple gaura, ea se reformează imediat. Particulele alcătuiesc grupări tridimensionale, aranjate în diferite moduri simetrice, ca atomii în rețelele cristaline. Dacă se injectează în plasmă particule mixte de două mărimi diferite, ele se triază pentru a alcătui două cristale de plasmă, fiecare conținând particule de o singură dimensiune. Când se întâlnesc, cristalele se sudează, iar marginea dintre ele se îndoaie în mod neobișnuit. Dacă un suflu de gaz neutru impactează cristalele, o undă de șoc foarte bine definită le va traversa.

Dacă o parte a camerei este mai caldă decât cealaltă, din acea direcție vine un vânt puternic de molecule și împinge cristalul de plasmă înspre partea mai rece. La sol, acest efect termic oferă o alternativă la câmpul electric, pentru a se opune gravitației și a face cristalele de plasmă să leviteze. În camera experimentală, asigurarea unei podele calde și a unui tavan rece va determina plutirea confortabilă a cristalelor de plasmă timp de ore întregi, neîntrerupt.

Fenomenele neobișnuite observate de cercetători deveneau inteligibile, datorită teoriilor care s-au dezvoltat în paralel cu pregătirea experimentelor. Vadim Tsytovich, de la Institutul de Fizică Generală din Rusia, prevăzuse forma ascuțită a marginilor cristalelor de plasmă, precum și separarea particulelor de dimensiuni diferite. Împreună cu Morfill, a elaborat o teorie mai precisă, numită efectul de umbră colectiv, care acționează în întregul cristal de plasmă și nu doar între particulele învecinate. Aceasta face parte din scenariul mai general conceput de Morfill și de Tsytovich referitor la instabilitățile din plasmăle prăfoase care le determină să formeze structuri organizate.

● Un ajutor la formarea Pământului

Prima surpriză oferită de experimentele de pe Stația Spațială Internațională a fost faptul că particulele de praf se ionizează chiar și atunci când sunt injectate într-un gaz neutru. Unele particule acumulează un surplus de sarcini pozitive (ioni pozitivi) din gaz, iar altele mai multe sarcini negative (electroni). De fapt, particulele își creează propria plasmă.

În consecință, particulele se atrag reciproc prin forța electrică obișnuită, formând un grup ce acumulează 100 000 de particule pe secundă. Fenomenul se petrece de un milion de ori mai repede decât ne-am aștepta în urma coliziunii unor particule neutre electric. Dacă ar fi fost observat mai devreme, ca o explicație alternativă pentru creștere rapidă a particulelor de praf, atunci cristalele de plasmă și forța de umbră ar fi rămas necunoscute. Și ar fi fost păcat, deoarece multe domenii ale științei și ingineriei vor resimți efectele acestei descoperiri.

În povestea forței de umbră și a forței prafului, cristalele de plasmă sunt la un fel de azil pentru particulele de praf uriașe. Dacă presiunea plasmei depășește respingerea dintre particulele mici, cristalul de plasmă nu poate supraviețui. În schimb, particulele de praf fuzionează și cresc rapid, în spațiul din jurul stelelor. Ca forță nouă în cosmos, forța prafului are consecințe ce trec dincolo de praful însuși.

Pentru a forma stele și planete, un nor de gaz prăfos colapsează sub acțiunea propriei gravitații. Norul trebuie să fie suficient de masiv și de greu pentru ca forța gravitațională să-l atragă, iar o teorie ce datează din 1928, formulată de astronomul britanic James Jeans, a definit noțiunea de masă critică. Dar în 2000 Robert Bingham de la Laboratorul Rutherford Appleton din Marea Britanie, în colaborare cu Tsytoich, atrăgea atenția că în spațiul interstelar forța care menține particulele de praf laolaltă este inițial mult mai puternică decât gravitația. Ea acționează asupra unor volume mai mici și dirijează praful mult mai repede decât atrage gravitația gazul.

„Presupunem că forța de umbră acționează în nori interstelari relativ denși pentru a forma comete și alte corpuri mici celeste ce ajută la crearea planetelor”, a spus Bingham. „Dacă avem dreptate, înseamnă că Pământul era deja format pe când Soarele era doar o posibilitate gazoasă.”

Efectele pot continua și astăzi în atmosfera Pământului. Plasma prăfoasă – gaz ionizat ce conține mici particule solide – este produsă de meteoriții care ard în atmosferă și de praful de la suprafață care se combină cu aerul ionizat de fulgere, de radiația ultravioletă a Soarelui și de radiația cosmică din galaxie. Particulele de praf sunt cele care oferă zilnic nucleele pe care apa condensează sau îngheață, pentru a se forma ploaia sau zăpada. Urmează să se cerceteze dacă forța de umbră este cea care accelerează creșterea lor până la o dimensiune ce permite formarea norilor.

● Praful inteligent

Cristalele de plasmă le-au dat oamenilor de știință șansa să studieze un model analog rețelelor atomice dar la o scară mult mai mare. Vor fi astfel clarificate procesele fundamentale ale cristalizării și topirii substanțelor obișnuite. Și poate că cercetarea asupra forței de umbră îi va ajuta pe inginerii nucleariști și pe producătorii de microcipuri să scape de dificultățile provocate de praf.

Cristalele de plasmă ar putea indica moduri de obținere a unor noi tipuri de materiale. Dar ele sunt deja o noutate fascinantă. Datorită capacității lor de a interacționa cu electricitatea, cu magnetismul, cu lumina, cu undele radio sau cu undele sonore, cristalele de plasmă ar putea crea noi senzori sau instrumente.

Prin urmare, oamenii de știință emit ipoteze referitoare la praful inteligent. Imaginația este provocată să evalueze consecințele și posibilitățile cristalelor de plasmă și ale forței prafului. În povestea science-fiction a lui Fred Hoyle, *Norul negru (The Black Cloud)* (1957), a apărut conceptul de mediu inteligent interstelar. Ca teoretician principal în domeniul cristalelor de plasmă, și Tsytoich a cochetat cu noțiunea de praf viu.

„Imaginați-vă o structură mare, autoorganizatoare, de cristale de plasmă plutind într-un nor interstelar”, a spus el. „Hrănindu-se din plasma prăfoasă, ea poate crește și se poate duplica. Structura complexă are memorie, dar se poate

transforma și poate evolua foarte repede – de exemplu în competiție cu structuri similare. N-ar trebui să spunem că e vie?”

- *Vezi de asemenea MOLECULE ÎN SPAȚIU. Pentru alte descoperiri provocate de stelele prăfoase și de instrumentele electrice, vezi FULLERENE ȘI NANOTUBURI.*

CULTURILE TRANSGENICE

La bine și la rău, a început un experiment planetar

I NIMA ORAȘULUI GHENT din Flandra este precum o mașină a timpului care ne proiectează în secolul al 16-lea. În zilele sale de glorie, acesta era unul dintre cele mai importante centre comerciale ale lumii, oferind o îmbătătoare combinație de postavuri, calvinism și capitalism, pe un fundal arhitectonic deosebit. În secolul al 20-lea, mohorâta universitate Rijksuniversiteit Gent, aflată în partea de sud a orașului, a inițiat o revoluție biotehnologică mondială. Aceasta a deschis calea către culturile transgenice sau modificate genetic (MG), în care materialul genetic străin este introdus cu ajutorul ingineriei genetice.

Povestea a început odată cu cercetarea plantelor bolnave. Cancerul bacterian Crown gall produce excrescențe urâte în jurul tulpinii plantelor la nivelul solului. Aceste tumori cancerigene produc o hrană foarte specializată, constând în substanțe chimice specifice numite opine. De această hrană se bucură doar bacteria din sol, *Agrobacterium tumefaciens*, care provoacă boala.

În anii 1940, Amin Braun de la Institutul Rockefeller din New York a demonstrat că bacteriile nu infectează plantele pe care le atacă. El considera că acestea doar introduc un agent inductor al tumorii în celulele plantelor și le lasă să se descurce cu funcția biochimică. Modul de atac era surprinzător – ca și cum niște teroriști dependenți de heroină ar fi forțat o fabrică de medicamente să producă drogul deconectant pe care și-l doresc ei.

Oamenii de știință belgieni au arătat că bacteriile fac acest truc cu ajutorul ingineriei genetice naturale. Microbiologii din Ghent erau în posesia unei colecții bogate de tulpini de *Agrobacterium*, dintre care doar unele au cauzat cancer bacterian Crown gall, iar altele nu. În anul 1974, cercetătorii Josef Schell și Marc Van Montagu, specialiști în genetică moleculară, au identificat și au izolat un inel

al acidului dezoxiribonucleic (ADN). Acesta era prezent în tulpinile virulente și absent în celelalte, și din acest motiv cercetătorii l-au numit plasmida inductoare de tumoră.

Acesta este agentul pe care bacteriile îl injectează într-o plantă rănită pentru a cauza tumorile de tip Crown gall. Cercetările ample desfășurate la Ghent și în diferite alte centre au arătat modul de operare al plasmidei. Aceasta poartă genele care induc cancerul celulelor plantei și, de asemenea, codul pentru a fabrica hrana bacteriei, opinele, din aminoacidul arginină. Plasmida cunoaște semnalele specifice prin care genele sunt încorporate în ADN-ul celulelor plantei și pot astfel opera eficient.

Printr-o coincidență, chiar cu doi ani înainte de izolarea plasmidei inductoare de tumoră, la Ghent, Paul Berg de la Stanford și colaboratorii săi biochimisti au demonstrat modul în care pot fi transferate genele, la voință, într-o bacterie. Metoda lor a fost numită tehnica ADN-ului recombinant și utiliza enzimele de restricție. Acestea sunt un fel de foarfecă naturală care servește în mod normal la tăierea în bucăți a ADN-ului străin, dar cercetătorii au arătat că ele puteau fi folosite într-o operație de tăiere-lipire, pentru a decupa ADN de la alt organism și a-l alipi în ADN-ul bacteriei, unde devenea ereditar.

Aceeași tehnică putea fi folosită cu plasmida lui *Agrobacterium*, pentru a îndepărta genele opinelor nedorite și a introduce alte gene. În anul 1983, echipa de la Ghent și o echipă americană de la universitatea din Washington și de la compania Monsanto au realizat în mod independent transferul de gene străine la plante. Acestea erau gene care confereau rezistență la anticorpi, foarte adecvate scopurilor experimentale, pentru că se putea observa imediat dacă genele transferate funcționau. Numai celulele plantelor modificate ar fi supraviețuit într-o cultură expusă la antibioticul potrivit.

În anul 1985, Plant Genetic Systems, o companie „spin-off” din Ghent finanțată cu capital belgian și suedez, producea primele culturi de roșii, de cartofi și de tutun rezistente la insecte și la erbicide. Cei de la Monsanto, în Statele Unite, erau și mai avansați. Înainte de sfârșitul deceniului, primele culturi transgenice experimentale se dezvoltău deja în mai multe țări.

„Cine poate ști ce se va întâmpla când imaginația omului va asimila în totalitate potențialul ingineriei genetice a plantelor?”, s-a întrebat Marc Van Montagu. Pe lângă culturi mai nutritive și mai rezistente la secetă, el avea în vedere plantele ca fiind mici fabrici de substanțe chimice, copacii cu creștere rapidă ca surse de energie și lemnul modificat genetic ca fiind înlocuitorul materialului plastic. Fizicianul Freeman Dyson de la Institutul Princeton pentru Studii Avansate a răspuns provocării fanteziste sugerând adaptarea unor arbori gigantici pe comete pentru a oferi suport vieții în spațiul cosmic. El și-a intitulat ideea „Înverzirea galaxiei”.

În anii 1980–1981, cinci laboratoare americane diferite au introdus gene ereditare în șoareci prin micro-injectarea directă a secvențelor de ADN în ovule

fertilizate. În privința neintervenției în materialul genetic uman a existat un consens general. În schimb, existau premisele unor beneficii mari în domeniile sănătății și agriculturii. Astfel s-a ajuns la folosirea plantelor și a animalelor transgenice în scopul fabricării de substanțe farmaceutice și a altor agenți curativi. Aceasta este ceea ce s-a numit „pharming”, cuvânt englezesc compus din „farming” (agricultură) și „pharmaceutical” (farmaceutic).

● Mobilitatea genelor și polenizarea eterogenă

Teama de a fi lăsați deoparte în ceea ce privește profiturile din afacerile agrotehnologice și farmaceutice a înclinat balanța politică în favoarea inginerilor geneticieni. Dar implicațiile uluitoare ale recombinării genelor au fost de la început controversate. Obiecțiile pe motive religioase, și anume că omul nu ar trebui să uzurpe rolul lui Dumnezeu în crearea și menținerea formelor vieții, au existat întotdeauna. Mulți comentatori laici, printre care și oameni de știință, și-au pus probleme de etică, în special în privința perspectivelor pe termen lung ale ingineriei genetice aplicate ființelor umane.

La scurt timp după succesul inițial al lui Berg cu tehnica ADN-ului recombinant, acesta a devenit președintele unui comitet al Academiei Naționale de Științe a SUA care a cerut, în 1974, un moratoriu voluntar pentru anumite tipuri de experimente. În anul care a urmat, el a devenit unul dintre membrii organizatori ai unei întruniri de la Asilomar, California, unde peste 100 de specialiști au dezbătut problemele privind siguranța tehnicilor de manipulare genetică, împreună cu medici și avocați. Modificarea genelor era mult prea folosită în cercetarea fundamentală pentru ca cercetătorii să accepte un moratoriu general, însă deliberările au oferit punctul de plecare pentru un regulament privind controlul cercetării și al aplicațiilor în diferite țări.

Dezbaterile privind siguranța mai degrabă decât etica au predominat mai ales atunci când modificările genetice ale plantelor au devenit cea mai răspândită aplicație a tehnicii modificării genelor. Este oare posibil ca aceste culturi transgenice să dăuneze oamenilor sau mediului? Deși protagoniștii acestor dezbateri afirmă că numai ignoranții se tem de asemenea lucruri, printre critici erau și biologi care primiseră Premiul Nobel.

Unul dintre ei era Werner Arber de la Biozentrum Basel, cel care descoperise enzimele de restricție, „foarfeca” pentru ADN folosită de inginerii geneticieni. Ceea ce-l preocupa pe el nu era artificialitatea tehnicilor, ci natura lor. Enzimele de restricție reprezintă doar una dintre metodele pe care le are Mama Natură pentru a determina mobilitatea genelor. Consecințele sunt vizibile la transferurile laterale de gene între organisme diferite, care au apărut adeseori în cursul evoluției. Rapida răspândire a rezistenței naturale a bacteriilor la antibioticele create de om, prin injectarea directă de la una la alta, ar fi doar un exemplu elocvent.

„Inginerii geneticieni nu pot prevedea care ar putea fi soarta genelor atunci când procese naturale au posibilitatea de a le transfera în alte organisme”, avertiza Arber în anul 1990. „Chiar dacă produsul direct al manipulării genetice este inofensiv și folositor, trebuie să fim precauți în ceea ce privește răspândirea acestuia în mediul înconjurător.”

Posibilitatea ca genele mobilizate artificial în cadrul modificărilor genetice să rămână în mod inerent mai mobile decât alte gene, reprezenta una dintre probleme. O altă a fost aceea că metodele primitive folosite de ingineria genetică ar putea afecta alte gene în moduri imprevizibile. Schimbările de comportament la plantele transgenice ar putea promova răspândirea noile gene în mod necontrolat.

O primă utilizare a ingineriei genetice în domeniul agriculturii a fost aceea de a face culturile rezistente la erbicide, astfel încât fermierii puteau distruge buruienile, crușând însă cultura. Pentru a simula plantele transgenice care urmau să fie comercializate, cercetătorii universitari de la Chicago au realizat experimente privind rezistența la erbicide a micuței buruieni *Arabidopsis thaliana*, o rudă a plantei de muștar, frecvent utilizată în studiile de genetică a plantelor. Ca majoritatea plantelor de cultură, arabidopsis se autofertilizează, fără ajutorul polenului de la alte exemplare.

Mai întâi, cercetătorii de la Chicago au creat mutații ai plantei prin tratarea semințelor cu o substanță chimică ce afecta genele și expunerea lor la efectele erbicidului clorsulfuron pe măsură ce se dezvoltau. Au găsit o tulpină rezistentă în care au identificat gena ce determina acest lucru, numind-o *Csr1-1*. Apoi au modificat genetic planta de două ori, introducând gena în două tulpini diferite de arabidopsis transgenic.

Pe un câmp din Illinois, ei au plantat câte 24 de exemplare de arabidopsis normal, de arabidopsis mutant și din cele două noi tipuri de arabidopsis modificate genetic. Atunci când cercetătorii au recoltat semințele și le-au plantat în laborator, au descoperit cu surprindere că multe dintre plantele normale au dobândit rezistență la clorsulfuron. Aproape în fiecare caz, gena *Csr1-1* provenea de la una dintre cele două tulpini de arabidopsis modificate ulterior, și nu de la cealaltă posibilă sursă, adică de la tulpina rezistentă inițială.

Se părea că ingineria genetică dezvoltase accidental promiscuitatea masculină a plantei, crescând șansele ca tulpinile transgenice să polenizeze alte plante. Arabidopsisul normal, sălbatic, modificat în acest fel, a devenit prototipul unei potențiale superburuieni, rezistentă la erbicide. Acest lucru era posibil ca rezultat al scurgerii genelor de la culturi rezistente – spre exemplu de la porumbul transgenic la timoftică.

„Deși este puțin probabil ca *Arabidopsis thaliana* să devină o plantă dăunătoare”, au spus Joy Bergelson și colaboratorii săi, „aceste rezultate arată că ingineria genetică poate mări în mod substanțial scăpările transgenice, chiar în specii considerate a fi aproape complet autonome.”

Se va repeta povestea cu bacteriile rezistente la antibiotice și în cazul plantelor rezistente la erbicide? În acest moment nimeni nu știe, dar experimentul la scară largă este în curs de derulare în ceea ce privește culturile transgenice. La bine și la rău, genele au ieșit din sticlă, precum geniul din lampă.

Clasica neglijență umană a favorizat deja răspândirea materialului transgenic. În plantațiile-test cu primele culturi modificate genetic, probleme de grădiniță precum raza de zbor a insectelor polenizatoare sau efectele vânturilor purtătoare de polen au fost subestimate. În Canada, rezistența la trei tipuri de erbicide indusă cu ajutorul polenului a apărut în cazul recoltelor de canola¹, rezultatul fiind un proces intentat de către agricultorii ecologici. În anul 2000, în Franța, o cultură de canola de pe 600 de hectare a fost distrusă din cauza contaminării cu o varietate modificată genetic.

„Controlul genelor este aproape imposibil având în vedere generația actuală de culturi modificate genetic”, admitea în anul 2002 un editorial din *Nature Biotechnology*, o publicație de specialitate pentru inginerii geneticieni. „Este timpul ca industria să facă pași decisivi în direcționarea scurgerii de gene din produsele ei. Problemele de mediu ridicate de culturile modificate genetic nu vor dispărea prea ușor.”

● Cine hotărăște?

La sfârșitul secolului al 20-lea, pe mari suprafețe ale planetei, în special în Statele Unite ale Americii, Argentina și Canada, se dezvoltau culturi modificate genetic. Experimentele de acest gen deveniseră tot mai răspândite, chiar și în zone mai precaute, cum ar fi Europa. Atât laboratoarele private, cât și cele finanțate din bani publici au continuat să laude minunile și beneficiile ingineriei genetice.

Controversa privind culturile transgenice a devenit un test pentru relația dintre știință și societate. Fără îndoială, ea va furniza multe subiecte pentru tezele de doctorat ale studenților la științe politice sau la istoria științelor, în următorii 200 de ani. Problemele iscate au evidențiat starea de confuzie a lumii în privința luării unor decizii referitoare la noile tehnologii.

La nivel politic, autoritățile locale și naționale se așteptau să aibă un cuvânt de spus referitor la ceea ce este permis în cazul plantării culturilor transgenice și al folosirii lor în alimentație. La fel s-a întâmplat și cu Uniunea Europeană, care a încercat să ia o decizie unică, însă fără șanse de reușită. A intrat în scenă și Organizația Națiunilor Unite, fiind implicată în dezvoltarea agriculturii și eradicarea foametei în lume.

Agricultorii și-au expus punctele de vedere prin intermediul organizațiilor naționale. În timp ce cei mai mulți vedeau beneficii în noile culturi, ei se întrebau

¹ O specie de rapiță canadiană cu conținut scăzut de acid erucic și de glucozizi, a cărei denumire este acronimul pentru Canadian Oil Low Acid.

În ce fel se va modifica industria lor. Agricultorii ecologici se temeau de riscul contaminării cu gene rătăcite. Grupuri de lobby, numite eufemistic organizații non-guvernamentale, s-au erijat în autorități care să vorbească în numele planetei. În unele zone, activiștii au distrus plantațiile experimentale cu culturi modificate genetic.

Știința vorbea pe mai multe voci. Mulți specialiști de nivel universitar nu au mai putut fi considerați comentatori dezinteresați ai riscurilor, în cazul că acestea ar fi existat, din cauza legăturilor pe care le aveau cu companiile de biotehnologie. În anul 2002, la reeditarea întâlnirii din 1975 de la Asilomar, David Baltimore de la Caltech concluziona: „Au mai rămas puțini universitari adevărați”.

Era de așteptat ca specialiștii care supravegheau experimentele privind siguranța culturilor transgenice să fie neutri, însă experimenterii care au raportat posibile rezultate nedorite, obținute din cercetări lipsite de prejudecăți, au riscat să fie priviți de către colegi ca inutili sau chiar mai rău. Consilieri științifici care nu erau neapărat specialiști în domeniu au ajutat guvernele să ia decizii privind culturile transgenice. În anul 1999, în Marea Britanie, aceștia împreună cu miniștrii pe care îi consiliau, au considerat de competența lor să discrediteze o propunere oficială din partea Asociației Medicilor Britanici (British Medical Association) care susținea necesitatea unui moratoriu pe termen nelimitat privind plantarea în scopuri comerciale a culturilor transgenice.

Medicii britanici erau îngrijorați în special de prezența „în totalitate inacceptabilă” a genelor rezistente la antibiotice în culturi, ca gene marker care să ateste transferurile de gene încheiate cu succes. Autorul principal al raportului lor, William Asscher, era fostul președinte al comisiei pentru siguranța medicamentelor din cadrul guvernului britanic. El a remarcat că licența medicamentelor poate fi retrasă, însă „impactul culturilor transgenice asupra mediului e posibil să fie ireversibil”.

În mass-media, reporterii ecologiști prezentau punctul de vedere al contestatarilor, în timp ce reporterii în domeniul științific reflectau opinia inginerilor geneticieni. Informațiile publice despre culturile transgenice ajunseseră să pară, cel mai adesea, o îndoctrinare publică, fie cu virtuțile, fie cu viciile lor. Cei mai entuziaști reporteri științifici au etichetat criticii ca fiind niște ignoranți ludiți², ca și cum nu ar fi existat probleme tehnice care meritau discutate.

Culturile transgenice au demonstrat cu mare claritate, pe de o parte, globalizarea pieței, iar pe de altă parte, creșterea puterii consumatorului. În Europa, cumpărătorii și-au câștigat dreptul de a ști ce consumă, prin menționarea pe etichetele produselor din magazine a prezenței sau absenței ingredientelor modificate genetic. Unele guverne din țările lumii a treia au specificat furnizorilor faptul că nu vor accepta noile culturi în termenii corporațiilor.

² Termenul „ludit” (de la numele lui Ned Lud) se referă la oamenii care se tem, nu au încredere sau protestează față de progresul tehnologic și față de schimbările pe care acesta le impune (n. red.).

Banii vorbesc, iar aspectul dezbaterii s-a modificat puțin. La o conferință a publicației *Farm Journal* din anul 2000, directorul executiv al Companiei Monsanto a avut o atitudine conciliantă. „Tonul nostru, abordarea noastră au fost percepute ca fiind arogante”, a spus Hendrik Verfaillie. „Compania mea și-a concentrat foarte mult atenția pe a oferi cea mai bună tehnologie pentru clienții noștri, cultivatorii, de aceea nu am luat pe de-a întregul în considerare problemele și grijile pe care le-am creat celorlalți.”

Presiunile care au favorizat culturile transgenice nu au fost doar de origine comercială. Cultivatorii de plante din sectorul public s-au considerat datori să contribuie la creșterea cu 50% a producției de cereale necesară pe plan mondial în primul sfert al secolului al 21-lea. Norman Borlaug de la Texas A&M, părintele științific al Revoluției Verzi care a eliminat foametea în ultimele decenii ale secolului trecut, era intolerant cu criticii citadini ai tehnicilor agricole moderne, printre care și biotehnologia.

Analizând, în anul 2000, perspectivele rezervelor mondiale de alimente, Borlaug a afirmat că exista deja, sau că era într-un stadiu avansat al cercetării, tehnologia necesară pentru a hrăni în mod constant 10 miliarde de oameni. El se întreba însă dacă le va fi permis fermierilor și cultivatorilor să folosească această tehnologie. „În vreme ce națiunile bogate își pot permite să adopte poziții ce implică riscuri foarte reduse și să plătească mai mult pentru hrana produsă prin așa-numitele metode ‘organice’, miliardul de oameni subnutriți cronic și cu venituri reduse nu va fi capabil de acest lucru.”

Cu toate acestea, în timpul unei misiuni de combatere a foametei din anul 2002, câteva țări cu venituri reduse din Africa au refuzat să primească porumb modificat genetic chiar și pentru a evita foametea. Acestea au invocat posibilele riscuri privind sănătatea și mediul. Oficialii programului le-au răspuns că ceea ce este bun pentru 280 de milioane de americani, ar trebui să fie bun și pentru ei. La întrebarea: „Cine hotărăște în privința culturilor transgenice?”, răspunsul pare a fi că toți și nimeni în special.

- Pentru detalii privind mobilitatea naturală a genelor, vezi **ARBORELE VIEȚII**.



CURENȚII OCEANICI

Un sistem de încălzire centrală planetar

INAINTE DE REVOLTA COLONIILOR BRITANICE din America de Nord, Benjamin Franklin era diriginte de poștă în Philadelphia. În 1769, guvernul i-a cerut o explicație a faptului că navele de corespondență rapide ce veneau din Falmouth, Anglia, aveau nevoie, de obicei, de două săptămâni în plus pentru a traversa Oceanul Atlantic, față de navele comerciale care plecau în același timp. Un comandant de balenieră din Nantucket i-a spus lui Franklin că a văzut uneori pacheboturile poștale din Falmouth navigând prin mijlocul Curentului Golfului.

„I-am informat că navigau contra unui curent a cărui viteză era de 6 kilometri pe oră și i-am sfătuit să îl traverseze, dar erau prea deștepti ca să primească sfaturi de la niște simpli pescari americani”, l-a citat Franklin pe comandant. „Când vântul e slab, sunt purtați înapoi de curent mai mult decât înainte de vânt.”

Navigatorii spanioli cunoșteau Curentul Golfului încă din secolul al 16-lea, iar marinarii lui Franklin l-au ajutat pe acesta să deseneze o hartă marină pe care apărea marele curent ce traversa Atlanticul pe direcția nord-est. El a trimis-o la Falmouth, dar comandanții pacheboturilor poștale nu au catadicsit să asculte nici sfatul unui poștaş din Colonii.

Această obtuzitate referitoare la curenți a persistat timp de aproape 100 de ani după ce oceanografia a devenit o știință recunoscută, odată cu croaziera în jurul lumii a vasului de cercetare *Challenger*, în anii 1872–1876. De secole, dacă nu chiar de milenii, pescarii japonezi au știut că tonul se aduna în jurul vârtejurilor din Curentul Kuroshio, analogul din Pacific al Curentului Golfului. Ei l-au localizat urmărind păsările de mare și ceața cauzată de schimbările de temperatură.

Oceanografii japonezi cunoșteau și ei vârtejurile, însă acestea au fost ignorate cu desăvârșire de știința occidentală până în 1957. Adică până când John Swallow de la Institutul Național de Oceanografie al Marii Britanii a lăsat libere câteva flotoare submersibile în Curentul Golfului, lângă insulele Bermude, și a observat că fiecare a apucat-o într-o direcție diferită. Ulterior, sateliții au evidențiat curenții turbionari în mod clar, ca pe niște zone calde și reci din mare. În anii 1980, pescarii japonezi primeau deja datele din satelit la bord, ca să-i ghideze înspre locul unde se afla tonul.

Curenții turbionari marini, cu o lățime de 10–100 de kilometri, sunt echivalenții acvatici ai furtunilor și anticiclonilor, dar pot persista luni sau ani de zile și pot purta navele în derivă pe distanțe mari. Ei se dezvoltă cel mai adesea la confluența unor curenți mari. De exemplu, în estul Japoniei vârtejurile se formează în locul unde curențul cald Kuroshio se întâlnește cu cel rece, Oyashio. Ele se îndreaptă încet înspre nord-est, dincolo de Insulele Kurile și de Peninsula Kamciatka, unde influențează vremea și clima. Comentând despre un asemenea vârtej care a durat din 1986 până în 1991, Konstantin Rogachev de la Institutul de Oceanografie Pacific din Vladivostok, Rusia, a spus că „sursa lui de energie rămâne încă un mister”.

Alcătuind așa-numita circulație la mezoscară, vârtejurile dețin în total de 20 de ori mai multă energie cinetică decât curenții la scară mare care traversează oceanele. Adesea sunt considerați varianta acvatică a curenților jet din atmosfera superioară și au un rol important în menținerea curenților. Local, vârtejurile pot crește sau scădea viteza medie a unui curent, sau pot schimba complet direcția acestuia. Așadar, cum au reușit vasele de cercetare care au inventariat cu sârguință toți curenții oceanici, să le rateze? Walter Munk de la UC San Diego a avut o explicație sarcastică.

„Vremea energetică a oceanului a fost considerată drept o circulație oceanică generală de o complexitate tot mai mare. La interpretarea greșită a contribuit și regula de aur a oceanografiei: să nu staționezi de două ori în același loc. În câteva cazuri de staționări repetate, diferențele puteau fi mereu atribuite unor defecte ale instrumentelor de măsură. Și totuși, e aproape de necrezut”, a conchis Munk, „că circulația la mezoscară a scăpat atâta timp rețelei de monitorizare a oceanului.”

● Din Java în nordul Europei?

La o scară mult mai mare, Arnold Gordon de la Columbia a sugerat, în 1986, că unii dintre marii curenți oceanici se unesc într-o centură de convecție globală. Apa caldă și sărată se îndreaptă înspre vest, la suprafață, din Oceanul Pacific, dincolo de Indonezia, traversează Oceanul Indian și înconjoară vârful sudic al Africii. Apoi călătorește departe, spre nord, în Atlantic, unindu-se cu Curențul Golfului ce își are originea în Golful Mexicului, și se îndreaptă apoi spre Marea Norvegiei. Cedându-și căldura, apa sărată se scufundă și începe o călătorie submarină lentă înapoi înspre Pacific, care o poartă pe lângă Antarctica și prin sudul Australiei.

Centura de convecție a devenit faimoasă când Wallace Broecker, tot de la Columbia, a invocat-o pentru a explica schimbările climatice drastice din trecut. El a sugerat, în 1991, că topirea masivă a gheții în Atlanticul de Nord, cauzată de înmulțirea explozivă a ghețarilor, diluează apa sărată ce ajunge în Curențul Golfului, astfel încât aceasta nu va fi suficient de densă pentru a se scufunda și a menține centura în mișcare. Și ploile abundente, datorate probabil încălzirii globale, ar putea avea același efect.

„Circulația de convecție a Oceanului Atlantic, al cărei debit este echivalentul a 100 de fluvii de talia Amazonului, dirijează o enormă cantitate de căldură spre nord, oferind astfel căldura necesară pentru a crea clima caldă de care se bucură Europa”, a spus Broecker. „Dacă această centură oceanică s-ar opri, temperaturile din timpul iernii în Atlanticul de Nord ar scădea brusc cu peste 5°C, iar schimbarea s-ar produce în zece ani sau mai puțin. De exemplu, datorită acestor schimbări, în Dublin ar fi clima din Spitsbergen.”

Faptul că Irlanda are o climă blândă la latitudini destul de înalte, datorită apei calde aduse tocmai din Java, era o idee încântătoare. Aceasta dădea semnificație comparației oceanelor cu un sui-generis sistem de încălzire centrală planetar. Fără îndoială, curenții oceanici transportă căldura de la tropice la poli și acționează la scară globală. Dar, din punct de vedere tehnic, povestea centurii de convecție a scos în evidență circulația medie a curenților oceanici și nu vârtejurile mult mai energice. De asemenea, a diminuat importanța neconținutelor interacțiuni bilaterale între aer și ocean ce au loc de-a lungul rutei unui curent oceanic.

● Modele și realitate: un efort global

Încă din anii 1970 cei care au încercat să realizeze pe calculator modele teoretice ale climei au descoperit că orice calcul parțial trebuie să ia în considerare efectele oceanice. Acestea includ multe complicații ce au legătură cu schimburile de vaporii de apă, de dioxid de carbon și de alte gaze cu efect de seră ce absorb radiația infraroșie, între apa mării și atmosferă. Oceanele interacționează, de asemenea, cu gheața la țărmurile polare, eliberând sare și sulf care ajută la formarea norilor. Viața din mare are și ea efecte climatice.

Pe plan mai general, oceanele tind să frâneze schimbările climatice deoarece, datorită masei lor totale, au nevoie de mai mult timp pentru a se încălzi sau pentru a se răci. Caracteristicile sistemului climatic sunt definite, în mare măsură, de încălzirea centrală oceanică. Când curenții se schimbă, nu este întotdeauna clar care e cauza și care e efectul. Iar ceea ce se petrece în adâncuri nu poate fi exclus în calculele pe termen lung.

Climele din trecut sunt reprezentate de parcele de apă mai caldă sau mai rece care se deplasează, precum submarinele, cu câțiva kilometri pe zi. Ele revin la suprafață, poate mulți ani mai târziu, și redau vremea care a existat demult, uneori la mare distanță. La o scară de timp mult mai mică, o oscilație a unui curent rece în largul coastei Ecuadorului indică binecunoscutul fenomen El Niño, când estul Pacificului se încălzește, având efecte considerabile asupra vremii și temperaturii globale.

În principiu, supercomputerele pot calcula mișcările curenților oceanici la toate adâncimile, la fel cum simulările pe computer dau prognoza vremii în funcție de mișcările și temperaturile aerului și de comportamentul apei, la diferite altitudini. În anii 1980, în cadrul unui proiect de pionierat intitulat FRAM, un consorțiu

britanic a modelat Oceanul Sudic. Proiectul a fost apoi susținut internațional. Dar sarcina le-a fost îngreunată de vremea marină influențată la scară mică de curenții turbionari, iar computerele secolului al 20-lea au fost depășite de situație.

În orice caz, modelele trebuiau comparate cu realitatea din toate oceanele, la toate adâncimile – ceea ce era o misiune impresionantă. În consecință, oceanografi din 30 de țări și-au unit eforturile în cadrul Experimentului Mondial al Circulației Oceanice, desfășurat în perioada 1990–2002, cel mai aprofundat studiu al curenților oceanici de până atunci. Faza principală a cercetării, monitorizarea, care s-a încheiat în 1998, a folosit trei sateliți și o flotă multinațională de vase de cercetare. În plus, 1 000 de balize submersibile cartografiau curenții din toate bazinele oceanice, la o adâncime de un kilometru. Unele balize au măsurat variații de temperatură și de salinitate la diferite adâncimi, pe măsură ce se ridicau la suprafață, din două în două săptămâni.

Cea mai importantă sarcină a expedițiilor pe mare din cadrul Experimentului Mondial al Circulației Oceanice a fost traversarea bazinelor oceanice pentru a măsura temperatura și salinitatea apei, de la suprafață până la fundul oceanului, în 10 000 de locuri. Mostrele chimice aduceau dovezi despre gaze solubile, despre alimentarea cu nutrimente necesară organismelor vii și despre poluarea cauzată de om. Abundența tritiului hidrogen-3 radioactiv eliberat în atmosferă de testele cu arme nucleare în apă a dat indicii despre ultima expunere la aer a apei de la mare adâncime.

O regiune critică pentru investigațiile la mari adâncimi a fost îndepărtatul Atlantic de Sud. Acolo, apa rece din Atlanticul de Nord se combină cu apa și mai rece din Antarctica și se revarsă în final în bazinele Oceanelor Indian și Pacific. Și apele mai puțin adânci ce înconjoară insulele Indoneziei prezentau un deosebit interes. Dintr-un imens Bazin Cald, la est de Noua Guinee, cea mai fierbinte regiune din toate oceanele, apa se scurge ca printr-o ecluză prin Marea Molucca, Strâmtoarea Makassar și pe alte rute maritime istorice. Un proiect franco-indonezian numit Experimentul Dinamic Java Australia a studiat lupta apei pentru a ieși din Oceanul Indian.

În 2002, John Gould, coordonatorul Experimentului Mondial al Circulației Oceanice de la sediul din Southampton, Anglia, a făcut deja o evaluare pozitivă. „Modelele globale realizate pe computere, capabile să reprezinte scale de până la 10 kilometri, au fost îmbunătățite și validate prin comparație cu datele EMCO”, a spus el. „Modelele în care au fost introduse datele au permis vizualizarea stării evolutive a oceanului din anii 1990 și o estimare asupra transportului de căldură și de apă proaspătă de către oceane.”

● Pantele marine

La începutul noului secol, Gould și alți oceanologi au inițiat deja un alt program, numit Variabilitatea și Predictibilitatea Climei, ce trebuia să se desfășoare până în

2010. Balizele submersibile moderne au format baza unui nou sistem de monitorizare a oceanelor numit Argo. Cei care monitorizau oceanele sperau să-i imite pe meteorologi în realizarea prognozelor în timp real pornind de la observații curente, în cadrul Experimentului de Asimilare Globală a Informațiilor despre Oceane.

Optimismul lor a fost susținut și de succesul monitorizării oceanelor din spațiu. Începând cu US Seasat (1978), o serie de sateliți „au mângâiat” marea cu razele radarelor care îi măsurau nivelul și au detectat astfel proeminențele și adânciturile de pe suprafața sa. Apa curge în jos, deci curenții ar trebui să apară ca niște pante pe suprafața mării.

Relația dintre pante și curenți este una simplă, dar nu mai intuitivă ca legătura dintre presiunea atmosferică și vânt. Vânturile care se deplasează de la regiunile cu presiune înaltă la cele cu presiune scăzută sunt deviate lateral, datorită rotației Pământului, astfel încât ajung să bată cu mare presiune într-o parte și cu mică presiune în cealaltă parte. În mod similar, curenții oceanici sunt deviați de-a curmezișul pantei mării și nu de-a lungul ei.

În principiu, curenții oceanici planetari pot fi măsurati prin măsurarea pantelor marine, din spațiu. În timpul Experimentului Mondial al Circulației Oceanice, satelitul americano-francez Topex-Poseidon, și sateliții europeni ERS-1 și ERS-2 au furnizat date despre pantele marine măsurate cu radare cu altimetru. În practică s-a dovedit a fi foarte complicat să se realizeze măsurători cu destulă precizie pentru a determina apoi curenții.

Imaginea se complică datorită ridicăturilor și adânciturilor de până la 100 de metri de la suprafața mării, produse de variații ale accelerației gravitaționale în diferite zone ale Pământului. Pantele asociate cu curenți oceanici sunt mult mai mici, ducând la diferențe de nivel de cel mult doi metri. La începutul secolului al 21-lea, o serie de sateliți pentru măsurarea forței gravitaționale, ce a culminat într-un proiect european numit GOCE (2005), promitea să determine cu mai mare acuratețe care ar trebui să fie nivelul ideal al mării în fiecare loc, dacă n-ar exista curenți.

„Visez la aceasta de 20 de ani”, a spus Georges Balmino, conducătorul Grupului de Cercetări de Geodezie Spațială, ce reunea opt echipe științifice din Franța. „Dacă am putea compara nivelurile reale și ideale ale mării cu suficientă precizie, ne-am îmbunătăți simțitor cunoașterea asupra curenților oceanici și a rolului lor în clima globală. Grație proiectului GOCE și sateliților săi radar perfecționați, acest vis va deveni în curând realitate.”

● „O ipoteză lunară”

Ca nu cumva cineva să se simtă mulțumit, unii fizicieni oceanografi cunoscuți au afirmat că modelele realizate pe calculator în secolul al 20-lea se bazează pe o presupunere falsă în privința forțelor care ghidau curenții oceanici. Vânturile puternice și diferențele de densitate a apei, spuneau manualele. Deoarece densitatea

apei depinde de temperatură și de sarea dizolvată, oceanografii au numit contribuția sa circulația termosalină.

Walter Munk de la UC San Diego și Carl Wunsch de la Institutul de Tehnologie Massachusetts au insistat asupra faptului că efectele termosaline erau mult prea slabe, atât în teorie cât și în datele experimentale. Ei au sugerat, în 1998, că energia care dirijează curenții oceanici este pe jumătate eoliană și pe jumătate provine de la Lună, adică de la marea lunare.

Pescarii și posesorii de iahturi sunt foarte familiarizați cu curenții mareici. Pe măsură ce nivelul apei mării crește și scade de două ori pe zi, sub influența Lunii, apa intră și iese din estuarele fluviilor și din alte canale de coastă. În largul oceanului, mișcările apei produse direct de marea sunt lente, fie că sunt comparate cu curenții mareici de coastă sau cu curenții transoceanici cum ar fi Curentul Golfului. Dar este implicat un volum imens de apă, iar efectele indirecte asupra sistemului de curenți sunt colosale.

Se poate face comparație cu vârtejurile apei de lângă coastă, când curenții mareici simt fricțiunea cu vadurile și cu promontoriile. Rezultatul este sfidarea gravitației și aducerea la suprafață a apei dense și reci. Cum aceasta e bogată în îngrășăminte naturale, ea va fertiliza zona de coastă. În adâncul oceanului, după cum au atras atenția Munk și Wunsch, are loc o acțiune asemănătoare de formare a vârtejurilor atunci când curenții mareici de la fundul oceanului întâlnesc pantele abrupte ale țărmurilor continentale sau dorsalele medio-oceanice, în care regiunile centrale ale oceanelor își pierd din adâncime. Aceasta, spun ei, ridică încontinuu, împotriva gravitației, apa relativ densă pentru a menține circulația submarină – și nu influența aproape insesizabilă a vremii asupra temperaturii și a salinității.

Energia vine de la sistemul Pământ – Lună, și datorită fricțiunii mareice Luna se îndepărtează lent de la noi. Măsurătorile cu raze laser arată că distanța ei față de Pământ crește cu patru centimetri pe an. Cifrele se potrivesc foarte bine, dacă o treime din retragere reprezintă contribuția Lunii la circulația generală a curenților oceanici, și două treimi la curenții mareici de coastă, mult mai agitați.

În câțiva ani, două studii diferite au sprijinit ceea ce Munk și Wunsch au numit „ipoteza lunară”. O analiză a mareelor timp de șase ani, după observațiile făcute de satelitul Topex-Poseidon, a demonstrat existența fricțiunii intense de-a lungul dorsalei medio-atlantice, în preajma insulelor Fiji și în vestul Oceanului Indian. Iar un studiu istoric al frecvenței evenimentelor de încălzire a apei în estul Pacificului, fenomen cunoscut ca El Niño, a arătat că acesta depindea de înclinarea orbitei Lunii față de Ecuatorul Pământului.

Dacă povestea efectelor mareice este corectă, valoarea modelelor ce simulează circulația oceanică pe computerele secolului al 20-lea, bazate pe efectele termosaline, e pusă serios la îndoială. La fel este și folosirea lor pentru prevederea modificărilor climatice. Ca o compensație, marea ne oferă o nouă perspectivă asupra climei din trecut.

Mareele și curenții erau diferiți în erele glaciare, când nivelurile oceanelor erau scăzute. În trecut și mai îndepărtat, datorită derivei continentelor, oceanele aveau forme diferite, iar Luna era mai aproape. Wunsch a comentat aceasta: „Se pare că, surprinzător, mareele sunt o parte complexă a schimbărilor climatice, la fel ca și istoria orbitei lunare.”

- *În calitate de catalizator al variațiilor climatice, EL NIÑO merită un capitol aparte. Vezi de asemenea FENOMENELE GLACIARE. Alte aplicații ale datelor sateliților ce măsoară gravitația sunt expuse în MIȘCĂRILE PLĂCILOR TECTONICE.*

CUTREMURELE



De ce nu vor fi niciodată prezise
cu exactitate sau prevenite

VASELE CARE RIDICĂ ANCORA DIN GOLFUL TOKYO, ticsite cu produse pentru export, trec printre două peninsule: Izu la tribord și Boso la babord. Falezele promontoriilor lor sunt terasate, ca niște scări uriașe. Partea plată a fiecărei terase este o fostă plajă, săpată de mare când uscatul era mai jos. Saltul de la o terasă la alta amintește de zguduirea pe direcție verticală a pământului în timpul unui cutremur de proporții. Marinarii care doresc să se reîntoarcă cu bine trebuie să-și încrucișeze degetele și să spere că aceste repere nu se vor afla mai sus la întoarcere.

Pe Boso, prima treaptă deasupra nivelului mării este cam la patru metri și corespunde mișcărilor de ridicare din timpul cutremurelor ce au afectat regiunea Tokyo în anii 1703 și 1923. Intervalul dintre acești ani a fost prea scurt pentru ca să se formeze o plajă. A doua treaptă, cu cinci metri mai înaltă, datează din jurul anului 800 î.Hr. Înălțările de teren ale următoarelor două trepte s-au produs în preajma anilor 2100 î.Hr. și 4200 î.Hr. Treptele mai recente sunt mai mici datorită tasărilor dintre cutremure.

La numai 20 de kilometri în largul lui Boso, se întâlnesc într-o triplă joncțiune trei plăci tectonice mobile ale scoarței terestre. Sub Placa Eurasiatică, pe care se află Japonia, se întâlnesc la nivelul fundului oceanic Placa Pacifică și Placa Filipineză, venind de la est, respectiv de la vest de Boso. Ultimele două plăci au la rândul lor propriul conflict, Placa Pacifică scufundându-se sub Placa Filipineză.

Toate acestea fac din Japonia o zonă activă din punct de vedere seismic. Fricțiunea plăcilor descendente a creat Muntele Fuji și alți vulcani. Cutremurele

mici sunt atât de obișnuite încât japonezii nici măcar nu-și mai întrerup conversația în timpul unei zdruncinături care îi face pe turiști să se năpustească în stradă. Și acolo, pe scurt, se află explicația motivului pentru care următorul mare cutremur este imprevizibil.

● Prea multe alarme false

Tânărul geofizician Hiroo Kanamori a fost printre primii din Japonia care au utilizat teoria plăcilor tectonice pentru a explica evenimentele geologice. El a fost coautor la prima carte de succes asupra subiectului: *Dezbattere asupra Pământului* (*Debate about the Earth*) (1970). În opinia sa, terasele peninsulelor Izu și Boso erau dovada clară a unui proces dinamic imposibil de oprit, și în consecință cutremurele care au devastat Tokyo și Yokohoma în 1923, ucigând 100 000 de oameni, au toate șansele să se repete într-o zi.

Mai întâi la Universitatea din Tokyo și apoi la Caltech, Kanamori și-a dedicat cariera cercetării fundamentale a cutremurelor, în special a celor de amplitudine mare. El este foarte priceput în a aduna maximum de informație posibil despre ce se întâmplă în timpul unui cutremur, din înregistrări ale mișcărilor pământului cu seismometre plasate pe diferite direcții față de locul respectiv. Kanamori a prezentat imaginea unei plăci tectonice care se scufunda sub alta împingând-o cu o forță imensă, blocându-se pentru un moment la interfața cu placa ce o încăleca și apoi eliberându-se brusc.

De exemplu, studiind înregistrările marelui cutremur din Chile din 1960, el a afirmat că un fragment de crustă de 800 pe 200 de kilometri a alunecat brusc cu 21 metri, pe lângă fragmentul vecin. El a putut deduce aceasta cu toate că linia faliei era ascunsă mult în adâncime, sub suprafață. De altfel acesta a fost cel mai mare cutremur înregistrat de când s-au inventat seismometrele. Magnitudinea sa a fost de 9,5 grade pe scara Richter.

Când se specifică intensitatea unui cutremur indicată printr-un număr pe scara Richter, este de fapt vorba despre magnitudinea-moment, concept introdus de Kanamori în 1977. El a avut grijă să echivaleze cât mai bine scara magnitudinii-moment cu cea introdusă în anii 1930 de Charles Richter de la Caltech și de alții, deci vechiul nume rămâne. Scara lui Kanamori este mai direct legată de cantitatea de energie degajată în timpul unui cutremur.

În pofida marilor progrese în știință, numărul victimelor omenești făcute de cutremure a crescut, fenomen agravat de creșterea populației și de urbanizare. La Tangshan, în China, în 1976, au murit 250 000 de oameni. Prezicerea cutremurelor în scopul salvării vieților omenești a devenit un obiectiv important pentru experți. Cele mai mari eforturi în acest sens s-au făcut în Japonia, dar și în California, unde fâșia costală alunecă spre nord-vest pe Placa Pacifică, de-a lungul faliei San Andreas și a multor altor falii asemănătoare.

Predicția se dorea a fi nu doar o declarație cu caracter general că o regiune este predispusă la cutremure, ci un avertisment practic, valabil pentru următoarele

minute sau ore. O perioadă de timp s-a crezut că printr-o muncă asiduă și cu răbdare s-ar putea obține rezultate.

Au împânzit uscatul și fundul oceanului cu seismometre pentru a înregistra chiar și cele mai mici vibrații. Au urmărit preșocurile care ar fi putut preceda cutremure mari. Au verificat în special porțiunile liniilor de falie care par să fie blocate într-un mod amenințător, fără ca vreun cutremur de mică intensitate să elibereze tensiunea. Oamenii de știință cercetează cu atenție seismogramele, ca niște investitori ce încearcă să prevadă evoluția acțiunilor la bursa de valori.

Alte semne posibile ale unui cutremur inevitabil includ schimbări ale proprietăților electrice ale rocilor și mișcările și înclinările solului detectabile cu raze laser sau de către sateliții de navigație. Modificările nivelului apei în fântâni și emanațiile de radon și de alte gaze indică fisuri la mare adâncime care se largesc. Și, în ultimă instanță, se poate observa comportamentul animalelor, despre care se presupune că au un al șaselea simț cu care presimt cutremurele.

În pofida muncii susținute, cercetătorii nu au reușit să dea vreun avertisment asupra cutremurului din 1995 de la Kobe, Japonia, care a cauzat peste 5 000 de morți. Acest eveniment a pus capăt efortului de 30 de ani al multor experți. Kanamori a afirmat cu regret că predicția cutremurelor ar putea fi imposibilă.

Micro-cutremurele, în cazul cărora alunecarea rocilor sau lărgirea unei falii se măsoară în milimetri, au magnitudinea 2. Ele nu sunt simțite nici de oameni, nici de seismometrele depărtate. Și totuși, afirma Kanamori, multe dintre ele ar putea să se transforme într-un cutremur mare, cu o magnitudine de 7–9 grade (pe scara Richter), generat de alunecări de metri sau de zeci de metri de-a lungul a mari distanțe.

Rezultatul depinde de lungimea finală a fisurii rocilor. Predicția fisurilor este o problemă dificilă a științei materialelor, la care se adaugă și incertitudinile teoriei haosului. La majoritatea micro-cutremurelor ruptura este oprită după o distanță mică, astfel că domeniul alarmelor false este nelimitat.

„Pentru că sunt de 100 000 de ori mai multe cutremure cu magnitudinea 2 decât cele cu 7, predicția pe termen scurt este foarte nesigură”, a concluzionat Kanamori în 1997. „Ar putea fi folositoare acolo unde alarmele false pot fi tolerate. Totuși, în zonele urbane industrializate, cu stiluri de viață, sisteme de comunicație și rețele financiare complexe, asemenea predicții incerte ar putea afecta economiile locale și pe cea globală.”

● Este posibil controlul cutremurelor?

În timpul Războiului Rece, un geofizician de la UC Los Angeles, Gordon MacDonald, a lansat ideea folosirii cutremurelor drept arme. Principiul de funcționare ar fi explozia unor bombe în falie mică, ce ar declanșa mișcarea unei falii majore. „De exemplu”, a explicat el, „regiunea faliei San Andreas, care trece pe lângă Los Angeles și San Francisco, face parte din marea centură de cutremure

a Pacificului. Dacă se cunoaște bine tensiunea din această centură, s-ar putea declanșa cutremure în regiunea San Andreas prin explozii programate în Marea Chinei și Marea Filipinelor”.

În 1969, la scurt timp după ce MacDonald a scris aceste cuvinte, Canada și Japonia au protestat împotriva unor serii de teste cu arme nucleare ale SUA, desfășurate la Amchitka în Insulele Aleutine, pe motivul că acestea ar putea declanșa un cutremur natural de proporții. Nu s-a întâmplat așa, și întrebarea dacă un cutremur natural sau o explozie, vulcanică sau provocată de om, poate determina un alt cutremur, la mare distanță, își caută încă răspuns. Dacă există un asemenea efect, probabil nu este rapid, în sensul descris aici.

Totuși, ideea lui MacDonald s-a născut din cunoștințele sale despre cutremure provocate de om, ca urmare a unor accidente. În 1968, o testare subterană a bombei cu hidrogen în deșertul Nevada a cauzat, timp de trei săptămâni, mai multe cutremure mici, de-a lungul unei vechi falii din apropiere. Circulau mai multe povești despre mici cutremure asociate cu crearea lacurilor de acumulare ale unor mari baraje din diferite părți ale lumii.

Ceea ce a dat de gândit a fost o serie de cutremure mici în Denver, din 1963 până în 1968, care a fost pusă pe seama unei operațiuni în apropierea unui centru militar de comandă din Munții Stâncoși. Apa contaminată accidental cu gaze toxice de luptă a fost evacuată în subteran printr-un puț de 3 kilometri adâncime. Primul cutremur a apărut la șase săptămâni după ce a început pomparea, iar activitatea seismică a încetat, mai mult sau mai puțin, la doi ani după ce s-a încheiat operațiunea.

Evident, oamenii ar putea să provoace sau să oprească cutremurele prin folosirea apei sub presiune pentru a reactiva și lubrifia faliile, până la adâncimea la care ajung sondele. Aceasta s-a confirmat prin experimentele din 1970–71 de pe un câmp petrolifer din Rangely, Colorado. Acestea au fost realizate de oamenii de știință de la Centrul Național al SUA pentru Cercetarea Cutremurelor, unde testele de laborator efectuate pe roci uscate și umede sub presiune au arătat că trepidatiile de-a lungul fisurilor deveneau mai frecvente, dar mai puțin intense în prezența apei.

În urma acestor experimente s-a propus oficial ca orașul San Francisco să fie salvat de următorul mare cutremur prin producerea controlată a mai multor cutremure mici. Aceasta ar elibera gradat tensiunea care s-a acumulat din 1906, când a avut loc ultimul cutremur mare. Erau necesare 500 de puțuri de 4 000 de metri adâncime, distribuite de-a lungul faliilor californiene. Totul trebuia efectuat într-un mod controlat, prin pomparea apei din două puțuri pentru a bloca falia de o parte și de alta a unui al treilea puț, în care s-ar pompa apa ce ar declanșa un mic cutremur.

Din punct de vedere politic, ideea era imposibil de aplicat. Din moment ce fiecare cutremur din California ar fi pus pe seama cercetătorilor, indiferent dacă ei sunt

răspunzători sau nu, litigiile acestora cu guvernul ar continua secole întregi. Era foarte plauzibil ca un cutremur mic provocat de om să-l declanșeze exact pe cel mare care ar fi trebuit oprit, conform planului. La sfârșitul secolului, concluzia lui Kanamori că transformarea unui cutremur mic într-unul mare este inerent imprevizibilă s-a mai îmbogățit cu un mesaj: mai bine să nu trageți tigrul de coadă!

● Mai rapide decât undele seismice

Direcțiile de cercetare s-au reorientat de la predicție și prevenire la diminuarea efectelor cutremurelor. În această privință, Japonia este lider mondial și acordă o mare atenție pregătirii, ca pentru război. Se începe cu planificarea orașelor, proiectarea unor clădiri și poduri rezistente la cutremur, consolidarea pantelor împotriva alunecărilor de teren și îmbunătățirea protecției țărmurilor contra valurilor tsunami – marile valuri mareice care însoțesc adeseori cutremurele.

În fiecare oraș, în fiecare cartier, experții calculează riscurile de producere a pagubelor și a accidentelor în urma vibrațiilor puternice, a incendiilor, a alunecărilor de pământ și a valurilor tsunami. Întreaga populație japoneză învață încă din copilărie ce să facă în caz de cutremur și în toată țara au loc exerciții de pregătire la data de 1 septembrie, când se comemorează victimele cutremurului din 1923 din orașele Tokyo și Yokohama. Camerele de comandă, asemănătoare unor fortificații militare, sunt gata să se ocupe de operațiunile de căutare și de salvare, de lupta cu incendiile, de controlul traficului și de alte servicii de urgență, echipate fiind cu toate cele necesare în ceea ce privește tehnologia informației și a comunicării. Pe acoperișuri sunt desenate numere, astfel încât piloții de elicoptere să știe unde se află când străzile sunt pline de dărâmături.

Marea provocare pentru seismologi este să furnizeze informații în timp real despre un cutremur mare comunităților care sunt pregătite și pot să le folosească. Ca o ironie a sorții, cu ocazia cutremurului de la Kobe din 1995, rețelele seismice și sistemele de comunicație au fost primele victime ale acestuia. Guvernul de la Tokyo n-a cunoscut proporția dezastrului decât după multe ore de la producerea lui.

Măsurile de precauție în cazul trenurilor de mare viteză japoneze este rezumatul acțiunilor necesare. De îndată ce se simte o trepidație puternică în regiunea pe unde acestea se deplasează, trenurile sunt încetinite sau oprite, răspunzând automat la semnalele radio trimise de un calculator care prelucrează datele primite de la seismometrele de lângă epicentru. Când șinele se leagănă și podurile tremură, limita dintre viață și moarte se calculează în secunde. De aceea, proiectanții sistemului folosesc unde luminoase și unde radio, pentru a o lua înaintea undelor seismice.

Sisteme asemănătoare, funcționale sau în construcție, din Japonia și din California, alertează publicul și opresc automat centralele electrice, supercalculatoarele și alte sisteme de aceeași importanță. Deosebit de valoroase sunt avertizările în timp real asupra replicilor care pot pune în pericol echipele de salvare și de depanare. Dificultatea este că, în cazul unui cutremur foarte mare, ideea de

epicentru nu este aplicabilă, deoarece falia implicată se poate întinde pe sute sau chiar pe mii de kilometri.

● **Deshidratarea serpentinelui**

Sunt încă multe de aflat despre ceea ce se petrece în subteranul zonelor cu activitate seismică. Simplele teorii referitoare la alunecarea unei mase de rocă pe lângă alta și propagarea undelor de șoc trebuie să ia în considerare acum procese mult mai complexe. Misterioase sunt în special cutremurele de la mari adâncimi, ca acela de magnitudine 8 ce a avut loc în Bolivia, în 1994. Epicentrul lui a fost localizat la 600 de kilometri adâncime, iar Kanamori și-a dat seama că aproape toată energia degajată în acest eveniment a fost sub formă de căldură și nu de unde seismice. Aceasta a cauzat topirea prin fricțiune a rocilor situate de-a lungul faliei și a absorbit energia.

Într-un fel, este surprinzător că au loc cutremure la adâncimi atât de mari, din moment ce rocile sunt de obicei maleabile și nu casante sub acțiunea temperaturilor înalte și a presiunii. Dar cutremurele sunt asociate cu părți ale plăcilor tectonice care se scufundă înspre marginile acestora. Acest proces de coborâre este o parte extrem de importantă a procesului prin care sunt distruse vechile bazine oceanice, în timp ce se formează altele noi, pentru a se efectua întregul ciclu geologic al plăcilor tectonice.

O posibilă explicație a cutremurelor de la mare adâncime este că pe măsură ce temperaturile și presiunile cresc, schimbările din compoziție determină o rigidizare a rocilor descendente. Olivina, un mineral foarte răspândit, se transformă în serpentin prin hidratare dacă vine în contact cu apa de suprafață. Când este dus înapoi în Pământ de către o placă tectonică descendentă, serpentinelui ar putea să redevină olivină, dacă „se stoarce” apa din cristalele sale. Atunci el ar deveni dintr-o dată casant. Deși acest comportament al serpentinelui ar putea explica cutremurele ce au loc la o adâncime de până la 200 de kilometri, va fi nevoie de deshidratarea altor minerale pentru a le justifica pe cele de la adâncimi și mai mari.

O presă uriașă de la Universitatea Bayreuth a permis oamenilor de știință de la Colegiul Universității (University College) din Londra să demonstreze deshidratarea serpentinelui la presiuni înalte. În cadrul experimentului, ei au generat cutremure în miniatură în interiorul aparatului. David Dobson a comentat că „înțelegerea acestor cutremure de adâncime ar putea fi cheia dezlegării ultimelor secrete ale tectonicii plăcilor”.

● **Detalii vizibile din satelit**

După un cutremur, experții fac de obicei un tur al regiunii pentru a măsura mișcările pământului, așa cum sunt ele relevate de mici pante nou apărute sau de drumuri curbate. În zilele noastre, ei pot folosi sateliți care să facă acest lucru

mult mai bine, doar prin compararea imaginilor radar obținute înainte și după un cutremur. Radarul cu apertură sintetică este atât de precis, încât se pot detecta deplasări de numai un centimetru.

Această tehnică a fost testată în 1999, când a avut loc cutremurul de la Izmit, echivalentul din Turcia al regiunii faliei San Andreas din California. De-a lungul faliei Anatoliei de Nord, Placa Anatoliei s-a deplasat câțiva centimetri spre vest față de Placa Eurasiatică, reprezentată de țărmul sudic al Mării Negre. Satelitul european ERS-2 a obținut o imagine radar a regiunii Izmit cu doar câteva zile înainte de eveniment și, după câteva săptămâni, o alta.

Când oamenii de știință de la Universitatea de Tehnologie din Delft au comparat imaginile obținute prin tehnica interferenței, au ajuns la concluzia că malul nordic al Golfului Izmit s-a îndepărtat cu cel puțin 1,95 metri de satelit, prin comparație cu țărmul sudic al Mării Negre. Printre multe alte detalii vizibile a fost absența amenințătoare a vreunei schimbări de-a lungul faliei la vest de Izmit.

„În acel loc nu există mișcare relativă între plăci”, a spus Ramon Hanssen, cel care a condus analiza. „O mare parte din tensiune este încă prezentă, ceea ce ar putea indica pentru viitor un mare risc de cutremur în următoarea secțiune a faliei, care este aproape de orașul Istanbul.”

- Pentru mai multe informații despre forța care dirijează mișcarea plăcilor tectonice și despre utilizarea undelor seismice în cercetarea interiorului Pământului, vezi capitolele **MIȘCĂRILE PLĂCILOR TECTONICE** și **ZONELE FIERBINȚI**.



DESCOPERIRILE

De ce experții renumiți greșesc de obicei

NIMIC NU S-A SCHIMBAT PREA MULT din vremea lui Galileo Galilei, pe când modificarea convingerilor oamenilor despre fenomenele naturale era o sarcină dificilă. Societatea acordă cel mai mare respect acelor cercetători care descoperă cunoștințe și idei noi, prezentând avantajul că sunt mai puțin incorecte, în raport cu opiniile general acceptate, dar greșite. Adesea însă, acest respect li se acordă retroactiv și câteodată doar postum. La acea vreme, bătăliile puteau fi lungi și acerbe.

„Nu este deloc ușor să fii un eretic de succes”, spunea Derek Freeman de la Universitatea Națională Australiană, care și-a petrecut 40 de ani pentru a corecta o greșeală evidentă referitoare la viața sexuală a adolescenților din Samoa, așa cum a fost prezentată de celebra Margaret Mead. „Contestarea cu convingere a unei credințe bine stabilite necesită o imensă cantitate de dovezi incontestabile. Cu alte cuvinte, în știință, un eretic trebuie să înțeleagă lucrurile pe deplin.”

Pentru majoritatea cercetătorilor profesioniști, știința reprezintă o carieră. Ei folosesc principii și tehnici cu tradiție pentru a aborda probleme și aplicații destul de clare. Sunt puțini cei care au pasiunea necesară pentru știință, așa cum alții o au pentru muzică sau alpinism, fapt care îi determină să depășească în mod semnificativ frontierele cunoașterii contemporane. Aceștia nu consideră știința ca fiind doar o sumă de cunoștințe păstrate cu sfîntenie în manuale, ci mai degrabă o succesiune de descoperiri ce vor face manualele să fie depășite.

Faptul că ei sunt preocupați de mistere ne ajută pe noi să le înțelegem mai bine aventurile. Cercetătorul în acțiune nu este profesorul sever de la catedră, ci un om plin de îndoieli care hoinărește încruntat, plin de speranță și mereu în alertă, prin hățișul ignoranței.

Prin definiție, descoperirile îți dezvăluie lucruri pe care nu le știai înainte. Unele dintre cele mai importante sunt rezultatul inspirației de moment asupra unor aspecte cunoscute dar enigmatice ale lumii. Altele sunt rezultatul unei tenacități extraordinare de a duce la bun sfârșit sarcini dificile, ce păreau de nerealizat. Sau descoperirile pot apărea prin observarea unor fenomene noi, situație în care abilitatea de a surprinde aspecte neprevăzute constituie un avantaj. „Măsurăm calitatea operei prin intensitatea uimirii pe care o generează”, spunea eseistul Lewis Thomas.

Totul începe cu acea persoană răspunzătoare de ceea ce fizicianul Richard Feynman a numit „emoția extraordinară” de a face o nouă descoperire. „Nu mai poți calcula, nu mai poți gândi. Nu doar pentru că natura este minunată, fiindcă dacă cineva îmi dă răspunsul la o problemă la care lucrez nu este la fel de captivant ca atunci când îl descopăr singur. Cred că este în legătură cu misterul de a cunoaște, chiar și numai pentru puțin timp, ceva ce nu mai este cunoscut nimănui în lume.”

O generație mai târziu, o dezvăluire asemănătoare a fost făcută de Wolfgang Ketterle, unul dintre primii fizicieni experimentatori care au obținut o nouă stare a materiei, numită condensarea Bose-Einstein. „Să vezi ceva ce nimeni nu a mai văzut înainte este palpitant și oferă mari satisfacții”, spunea el. „Acelea sunt momentele în care îți dorești cu adevărat să fii om de știință.”

Sistemul social al științei este un club organizat pentru a uimi. Acesta creează un mediu în care cunoștințele pot fi exprimate în lucrări publicate și, din când în când, provoacă persoanelor inteligente și norocoase emoția unei mari descoperiri. Opoziția căreia aceste persoane trebuie să-i țină piept, majoritară în club și formată din susținătorii ideilor preexistente, este și ea o parte necesară a sistemului.

Cei care se opun ideilor noi care se dovedesc a fi corecte sunt catalogați retroactiv drept nătângi. Dar tot ei apără totodată știința de noțiuni năstrușnice, gafe tehnice, fraude evidente și de o mulțime de teorii geniale care, din nefericire, sunt greșite. De asemenea, ei creează fundalul întunecat necesar pentru ca adevăratele descoperiri să strălucească.

Deoarece nu există nici cel mai mic semn că știința, ca succesiune a descoperirilor, ar lua sfârșit vreodată, un raționament simplu ne arată că și cei mai renumiți experți se înșală de obicei. Într-o zi, o mare descoperire va dovedi că ceea ce ei îi învață acum pe studenți sau ceea ce spun publicului este greșit sau foarte inadecvat. În caz contrar, probabil că subiectul este muribund.

„Practicantul cunoașterii naturale refuză categoric să recunoască autoritatea ca atare”, scria prietenul de-o viață al lui Charles Darwin, Thomas Henry Huxley. „Pentru el, scepticismul este cea mai mare îndatorire; iar credința oarbă – un păcat de neiertat.”

Pentru unii critici, natura provizorie a cunoașterii științifice pare a fi o mare slăbiciune, dar de fapt este punctul ei forte. Pentru a înțelege de ce, merită să cercetăm mai îndeaproape clubul uimirii.

● Motorul și roata cu clichet

Încă din zorii științei moderne, perioadă datată în general pe vremea lui Galileo, în urmă cu 400 de ani, descoperirile au transformat cultura umană din punct de vedere practic, filozofic și politic. În spatele succesului deosebit al științei se află descoperirea modului de a face descoperiri, prin interacțiunea dintre ipoteze – pe

de o parte – și observații și experimente – pe de altă parte. Acest mecanism este motorul progresului științei, inegalabil în orice altă activitate umană.

Filozofii au încercat să demonteze motorul și să-l reconstruiască, conform modului lor de gândire bazat pe ceea ce își aminteau. Unii chiar au încercat să dea științei o logică automată, scrisă în limbaj algebric. De fapt, descoperirea este o activitate umană intensă, cu toată puterea, slăbiciunea, emoția și imprevizibilitatea pe care aceasta le implică. Iată câteva metode empirice.

Dacă observi un vulcan în erupție pe Lună, dar nimeni altcineva nu-l mai vede, ai ghinion. Colegii tăi ar putea crede că ai băut prea multă vodcă în noaptea cu pricina. Contează atât observațiile care pot fi verificate, cât și teoriile falsificabile (care pot fi infirmate). O ipoteză care nu poate fi confirmată prin experimente și observații practice este fără valoare. Un experimentator, Claude Bernard, a anticipat în linii mari această idee a falsificabilității în 1865, conceptul fiind atribuit însă unui filozof din secolul al 20-lea, Karl Popper de la Londra, care a considerat-o liantul științei.

Paul Feyerabend a fost discipolul preferat al lui Popper, născut ca și el în Austria. Dar, la UC Berkeley, Feyerabend s-a răzvrătit împotriva maestrului său. „Ideea că știința poate și trebuie să fie condusă după reguli fixe și universale este atât nerealistă cât și dăunătoare”, a scris el. Tot el a declarat că singura regulă care supraviețuiește este „Se acceptă orice!” (fiAnything goes!”).

Tot la Berkeley a activat și cel mai influent epistemolog din secolul al 20-lea, fizicianul Thomas Kuhn. În cartea sa *Structura revoluțiilor științifice* (1962), el a făcut distincția dintre știința normală și schimbarea paradigmei. Prin știință normală el se referea la cercetările efectuate într-o ramură a științei, în conformitate cu o idee predominantă, numită paradigmă. O schimbare de paradigmă necesită o revoluție științifică, ce ar fi la fel de vehement contestată ca și o revoluție politică.

Analiza lui Kuhn a fost considerată de mulți oameni de știință drept o descriere rezonabilă a ceea ce se petrece, iar „schimbarea paradigmei” a devenit un pretext pentru ideile lor mai radicale. Criticii au încercat să o folosească pentru a devaloriza știința, evidențiind natura temporară a paradigmelor actuale. Dar cea mai inteligentă caracteristică a sistemului cunoașterii seamănă cu mecanismul roții cu clichet (care se rotește doar într-un sens), care asigură creșterea și consolidarea cunoștințelor științifice, indiferent de schimbarea interpretărilor lor.

Stelele sau bacteriile descoperite nu dispar dacă părerile despre ele se schimbă. Departe de a fi devalorizată, cunoașterea factuală acumulată câștigă în importanță atunci când reinterpretările o plasează într-o perspectivă mai cuprinzătoare. După cum a explicat Kuhn, noile paradigme „păstrează de obicei o mare parte din cele mai concrete părți ale realizărilor anterioare și permit întotdeauna abordări noi de tip problemă-soluții concrete”.

Denigratorii științei se plâng adesea că ea este ghidată în această direcție de către diverși factori externi – sociali, politici, culturali și tehnologici. În secolul al 17-lea, necesitățile navigației oceanice au propulsat astronomia. Rezultatele secundare ale cercetărilor militare din secolul al 20-lea le-au oferit oamenilor de știință multe dintre valoroasele lor instrumente. În secolul al 21-lea, cercetătorii în domeniul biomedicinii se plâng că vizibilitatea politică a diferitelor boli generează favoritism în finanțare. Dar niciunul dintre acești factori care sunt activi în timpul procesului cercetării ce conduce la o descoperire nu îi afectează acesteia meritul fundamental.

„Alpiniștii dintr-un grup se pot contrazice asupra celui mai bun traseu spre vârf”, a afirmat fizicianul Steven Weinberg, „și argumentele pot fi condiționate de istoria și de structura socială a expediției, dar în final fie că găsesc un traseu bun spre vârf, fie că nu, o vor ști doar când ajung acolo”.

● Minți limpezi și musafiri nepoftiți

Cea mai simpatcă efigie a științei, prezentată de exemplu drept personalitatea secolului pe coperta revistei *Time*, este Albert Einstein în ipostaza unui bătrânel nostim cu părul vâlvoi. Teoreticianul care a reconstruit Universul în mintea lui era tânăr, energic și cu o înfățișare arogantă. În mod obișnuit, descoperirea este un joc pentru tinerii ambițioși, cu încredere în sine și ar trebui să-l stimăm pe Isaac Barrow de la Cambridge, care și-a dat demisia în 1669 pentru a-i oferi locul său lui Isaac Newton, care absolvise cu doar un an înainte.

Deși numai câteva persoane au primit Premii Nobel pentru cercetări realizate în studenție, vârsta nu este cel mai important factor. Doctoranzii și oamenii de știință cu experiență pot face la fel de bine descoperiri. Ceea ce contează este să-ți menții o curiozitate de copil și o disponibilitate spre uimire care să reziste sofisticării, complexității și autorității cunoștințelor existente. Trebuie să știi destul despre un subiect pentru a fi conștient care sunt problemele, dar poate nu prea mult, ca să nu știi că anumite idei au fost deja excluse.

Succesele intrușilor, care intră nepoftiți într-un domeniu de cercetare și-l revoluționează, dovedesc încă o dată cât este de important să vezi lucrurile dintr-o nouă perspectivă. Printre cei mai remarcabili diletanți din secolul al 20-lea s-au numărat Alfred Wegener, meteorologul care a lansat ideea derivei continentelor și inginerul constructor Milutin Milankovitch, cel care a perfecționat teoria astronomică a erelor glaciare. Ambilor li s-au recunoscut meritele doar după ce au murit. Arheologii datorează metoda datării cu carbon-14 unui alt musafir nepoftit, specialistul în chimie nucleară Willard Libby, iar fizicianul teoretician Erwin Schrödinger a inspirat pe mulți folosind pentru prima dată ideea de cod genetic.

„Iată”, spunea Graham Smith arătând o fotografie de-a sa alături de Martin Ryle, lucrând la un radiotelescop primitiv, pe un câmp de lângă Cambridge, în 1948. „Doi viitori astronomi regali, și niciunul nu știa ce este ascensia dreaptă.”

Pătrunzând ca niște nepoștiți în astronomie, cei doi radiofizicieni erau la un pas de a descoperi câteva zeci dintre primele surse de unde radio cunoscute din Univers. În următorii 20 de ani, nou-veniții cu antene mari au transformat Universul dintr-o scenă senină cu stele și nebuloase într-un tumult de quasari și galaxii convulsive, străbătut de ecoul Big Bang-ului însuși.

Mintile limpezi și tehnicile noi nu sunt singurele elemente pentru o intruziune de succes. Capacitatea intrușilor de a stăpâni suficient de bine principiile unui subiect nefamiliar pentru a aduce contribuții științifice majore arată că și cea mai avansată știință nu este greu de învățat. Contrar ideii promovate de către specialiști și de către instituțiile lor, nu trebuie să faci pentru mult timp ucenicie în domeniul ales.

Și Mama Natură conspiră cu intrușii. Ea nu știe nimic despre împărțirea în discipline rivale, ci folosește aceleași materii prime și forțe fizice pentru a crea și a face să funcționeze găurile negre, murele sau creierele. Cel mai important curent global al științei secolului al 20-lea a schimbat direcția către supraspecializare care data din secolul al 19-lea. Domeniile interdisciplinare care nu erau încă revendicate au devenit un teritoriu deschis tuturor nou-veniților. Succesorii lor din secolul al 21-lea vor completa reuniunea cunoașterii naturale.

● Cum se poticnește știința

În pofida previziunilor despre sfârșitul științei, nimic nu indică vreo încetinire a progresului la frontierele descoperirii. Dimpotrivă, această carte descrie realizările uimitoare din multe domenii științifice. În prezent, cercetătorii descifrează cu mare ușurință structura genelor. Ei studiază interiorul creierului in vivo, al Pământului și al Soarelui și explorează Universul cu noile telescoape. Domenii vaste și necercetate ne fac cu ochiul.

Pe de altă parte, nici cercetarea științifică nu dă vreun semn de accelerare, în pofida imensei creșteri numerice a forței de muncă – jumătate dintre oamenii de știință din istoria omenirii sunt încă în viață. Se publică aproximativ 20 000 de lucrări științifice în fiecare zi, de zece ori mai mult decât în 1950. Dar toate acestea sunt doar completări de detaliu ale științei normale a lui Kuhn sau aplicații practice ale acesteia. Dacă vă întrebați unde sunt marile descoperiri, care transformă înțelegerea umană și dau un nou curs științei, ele sunt la fel de prețioase și rare ca întotdeauna.

Descoperirile importante ale anilor 1990–2000 includ nanotuburile, planetele care orbitează în jurul altor stele, monștrii optimiști din biologie, superatomii, accelerația cosmică, cristalele de plasmă și oscilațiile neutrinilor. Toate au implicații capitale. Totuși, este instructiv să le comparăm cu descoperirile făcute cu un secol înainte. Perioada 1890–1900 a făcut cunoscute razele X, radioactivitatea, electronul, virusurile, enzimele, radicalii liberi și grupele sanguine. Ne-am pripit dacă am afirma că noile descoperiri au fost cu mult mai strălucitoare.

Una dintre diferențe este că toate descoperirile din anii 1890–1900 au fost realizate în Europa, pe când meritele celor făcute după 100 de ani s-au împărțit între Europa, SUA și Japonia. Aceasta evidențiază cât de mare este rezervorul de talente din zilele noastre, care include și femei excepționale. Totuși nu se observă o criză a Premiilor Nobel disponibile, la mai mult de 100 de ani de când au fost instituite.

Cei care caută scuze performanțelor relativ slabe în domeniul descoperirilor, raportat la sumele investite, spun că toate cercetările ușoare au fost deja făcute. În zilele noastre este nevoie de aparatură scumpă și de echipe mari de cercetători pentru a ajunge la rezultate notabile. Aceasta se aplică în unele ramuri ale științei, dar se compensează cu faptul că aparatele moderne fac munca mai ușoară posesorilor lor.

Principalul motiv pentru care nu se observă o accelerare a ritmului descoperirilor, în pofida numărului mare de cercetători, ar putea fi faptul că sistemul social al științei a dobândit o reală abilitate de a se opune noilor cunoștințe și idei. Într-adevăr, acesta pare să fi devenit rolul său cel mai important. Știința nu mai este o vocație pentru câțiva pasionați, cum era pe vremea lui Pasteur și a lui Maxwell, ci doar o ocupație ca oricare alta pentru majoritatea angajaților din domeniu.

Pentru a oferi slujbe și pensii sigure, trebuie fonduri sigure. Aceasta înseamnă să hotărâști încotro crezi că se îndreaptă știința – o ambiție absurdă prin ea însăși – și să faci un front comun. În fiecare domeniu, agențiile de finanțare desemnează comisii de experți din comunitățile științifice pe care le sponsorizează. O oarecare corectitudine se remarcă atunci când vreunul dintre experții din comisie se retrage de la deliberările referitoare la finanțarea propriului său proiect de cercetare, altminteri sistemul este destul de relaxat.

Același front comun acționează de sus în jos în sistem pentru a controla activitățile fiecărui cercetător în parte. Când aceștia solicită finanțări sau când își prezintă descoperirile pentru a fi publicate, experții din același domeniu iau o decizie, catalogând proiectul drept „bun” sau „greșit”. Orice contrazice linia științei normale este pasibil de a fi considerat „greșit”, sau i se acordă prioritate scăzută. Când sunt puține fonduri (cum se întâmplă adesea), „prioritate scăzută” înseamnă că „nu sunt bani pentru aiureli”.

Descoperirile majore perturbă sistemul. Ele pot genera o schimbare a puterii, atunci când se dovedește că oameni de știință de renume s-au înșelat și sunt înlocuiți de tineri în plină ascensiune. Notele de curs se învechesc peste noapte. În cazurile extreme, o descoperire poate determina chiar închiderea laboratoarelor demodate.

Pentru a fi siguri că nimeni nu este arbitrar finanțat pentru a face o descoperire nedorită, celor care solicită fonduri li se cere să prevadă rezultatele proiectului de cercetare propus. Prin definiție, o descoperire nu poate fi cunoscută dinainte, fapt care constituie o intimidare eficientă. Totuși, se fac descoperiri, fie de către

oameni de știință respectabili, din întâmplare, sau de către nonconformiști, intenționat. Atunci, sistemul face tot ce-i stă în putință pentru a-i ridiculiza.

Un cercetător independent care lucra pe cont propriu, chimistul britanic James Lovelock, și-a permis să spună ce gândește și să explice în ce mod sistemul descurajează creativitatea. „Înainte ca un om de știință să fie finanțat pentru o cercetare și înainte să-și poată publica rezultatele, acestea trebuie să fie examinate și aprobate de o echipă anonimă de așa-numite somități. Această inchiziție nu-i poate încă spânzura sau arde pe eretici, dar le poate interzice publicarea cercetării făcute sau primirea de fonduri pentru ea, deținând întreaga putere pentru a distruge cariera oricărui om de știință care se revoltă.”

Confesiunile unui laureat al Premiului Nobel arată că Lovelock nu a exagerat deloc. Stanley Prusiner a descoperit că prionii sunt agenții infecțioși ai encefalopatiilor. El a reușit să obțină în 1974 finanțarea primei sale lucrări asupra acestor maladii degenerative ale creierului solicitând fonduri pentru un subiect cu totul diferit. Și-a dat seama că dacă ar fi fost sincer ar fi fost întâmpinat cu un refuz.

Esența descoperirii lui Prusiner era că proteinele ar putea fi agenți infecțioși. Toate somitățile din biomedicină știau că agenții infecțioși trebuie să conțină material genetic – acizi nucleici, ca și bacteriile, virusurile și paraziții. Atunci când el a găsit doar proteine, un important finanțator privat și-a retras sprijinul și universitatea a amenințat că îi va anula postul deținut. În 1982, Prusiner a făcut publică noțiunea de prion și a declanșat un scandal uriaș.

„Mass-media a oferit negativiștilor o modalitate să-și exprime frustrarea de a nu fi găsit prețiosul acid nucleic de care erau așa de siguri că există”, și-a amintit Prusiner mai târziu. „Din moment ce jurnaliștii nu înțeleg, de obicei, disputele științifice și sunt dispuși să scrie despre orice controversă, atacurile la persoană ale negativiștilor au devenit destul de deranjante.” Prusiner s-a plâns mai ales că soția lui era afectată de această atitudine batjocoritoare.

Știința nu ar trebui să fie așa. Doar câteva instituții, cu fonduri asigurate, contribuie la descoperiri disproporționat de mult. Un exemplu sunt Laboratoarele Bell din New Jersey, care sunt menționate mereu în această carte, în domenii de la cosmologie până la cercetarea creierului. Un altul este Institutul Whitehead pentru Cercetare Biomedicală din Massachusetts. „Scopul nostru nu este să canalizăm știința spre o anumită finalitate”, a explicat directoarea acestui institut, Susan Lindquist. „Filozofia noastră este simplă: dacă îi aduni pe cei mai buni cercetători și le dai resursele necesare, ei vor obține rezultate importante.”

● Ar trebui să oprim descoperirile?

Restricția asupra descoperirilor generată de acest sistem al somităților este și un lucru bun. Ea asigură o anumită stabilitate în carierele oamenilor de știință

„normali”, care sunt foarte importanți pentru societate și pentru sistemul educațional, fiind mult mai mulți decât cei câțiva inovatori care trebuie să sufere dacă încearcă să tulbure apele. În general, amânările și lipsa de eficiență dau mai mult timp oamenilor obișnuiți să se adapteze la consecințele descoperirilor științifice.

Catalogul problemelor sociale generate de știință de la începutul secolului al 21-lea cuprinde subiecte de la reglementarea culturilor transgenice până la utilizările în scopuri criminale ale Internetului. Ca de obicei, cea mai periculoasă este utilizarea științei pentru producerea de armament „Trebuie să fim atenți”, avertiza Winston Churchill, „ca nu cumva Epoca de Piatră să revină pe aripile strălucitoare ale științei”.

În toiu Războiului Rece, în 1983, Martin Ryle de la Universitatea din Cambridge s-a plâns că s-a apucat de radioastronomie pentru a se îndepărta cât de mult posibil de orice scop militar dar, în final, noile sale tehnici de realizare a radiotelescoapelor de mare putere au fost pervertite pentru a îmbunătăți sistemele radar și sonarele. „Nu *trebuie* să înțelegem evoluția galaxiilor”, a spus el.

„Am ajuns la sfârșitul vieții mele științifice”, scria Ryle unui om de știință brazilian, „cu sentimentul că mai bine aș fi devenit fermier în 1945. Bineînțeles, se poate argumenta că, oricum, altcineva ar fi făcut-o, deci trebuie să înfruntăm cea mai importantă întrebare. Știința fundamentală (acum în unele domenii, în altele probabil mai târziu) ar trebui oprită?”

Dacă un laureat al Premiului Nobel își pune o asemenea întrebare, ar trebui să reflectăm asupra ei. În unele sisteme politice și religioase, cunoașterea a fost considerată periculoasă pentru stat sau pentru credință. Vechii atenieni au tolerat și au explicat logic dorința de a cunoaște. Această abordare a coincis cu o încredere atât de exuberantă în decența umană și în bunul simț, încât în zilele lor de glorie își alegeau conducătorii prin tragere la sorți din întreaga populație de sex masculin.

Din această perspectivă, știința este și ea un joc de noroc grecesc, pentru că pleacă de la premisa că, în general, oamenii sunt destul de virtuoși pentru a li se încredința cunoștințe foarte importante și eventual periculoase. Există aici o implicație pe care oamenilor de știință le este dificil să o accepte. Întreaga societate, informată corect, trebuie să decidă cum se vor folosi noile cunoștințe, și nu doar niște oameni de știință care cred că știu cel mai bine ce este de făcut – oricât de bine intenționați ar fi ei.

O altă implicație se referă la percepția publică a științei ca o mare întreprindere, în pofida eforturilor oamenilor de știință de a-și menține personalitățile ezoterice. Cercetătorii ar trebui să se străduiască să rămână cinstiți și lipsiți de prejudecăți în toate disciplinele. Dacă vreodată se va dovedi că știința a fost doar un pariu neinspirat și vreun dezastru pregătit cu ajutorul ei va surprinde lumea, supraviețuitorii care vor arde din temelii laboratoarele nu se vor opri ca să citească numele de pe uși.

- Pentru comentarii privind inutilitatea încercării de a prezice cursul științei, vezi FULLERENE ȘI NANOTUBURI. Pentru o clasificare a statutului unor descoperiri recente, vezi SCARA LUI BERNAL. Pentru două aplicații militare ale științei, vezi ARMELE NUCLEARE ȘI VARIOLA.

DINOZAURII



De ce, până la urmă, ce-i micuț e mai drăguț

PE VREMEA CÂND REPTILELE STĂPÂNEAU PĂMÂNTUL, cele mai bune strategii de supraviețuire erau: să fii mare, să fii iute sau să dispari repede. Giganticii dinozauri s-au descurcat bine timp de peste 100 de milioane de ani. Ei au pierit în catastrofa ce a zguduit planeta acum 65 de milioane de ani, lăsând în urmă numai niște rude îndepărtate ale lor, crocodilii, care să amintească neștiutorilor ce puteau face fălcile reptilelor.

Dinozaurii mai mici, atipici, au lăsat mulți urmași supraviețuitori – creaturi care ar putea fi corect descrise ca reptile cu sânge cald și cu înclinații de prădători, deși le numim cel mai adesea păsări. Faptul că acestea sunt dinozauri într-o nouă formă a fost destul de evident pentru mai mulți specialiști, încă de acum un secol.

Ideea că puii din ogradă sunt înrudiți cu înfricoșătorul *Tyrannosaurus Rex* pare o glumă, până când ne aducem aminte că tiranozaurii alergau pe două picioare, exact ca păsările, după ce ieșeau din ouă uriașe asemănătoare celor de găină. Aceste asemănări superficiale sunt și mai evidente atunci când comparăm prădătorii – dinozauri de talie mică, buni alergători – cu păsările care nu pot zbura, de exemplu cu struții.

Încă din secolul al 19-lea, paleontologii au descoperit în Germania rămășițele unei creaturi numite *Archaeopteryx*, care a trăit în urmă cu 150 de milioane de ani. Având mărimea unei ciori, aceasta prezenta membre superioare asemănătoare aripilor și pene, în schimb avea maxilare prevăzute cu dinți și o coadă de reptilă, de parcă s-ar fi aflat în faza timpurie a evoluției către păsările din prezent. În anii 1990 ea i-a cedat întâietatea de pasăre timpurie lui *Confuciusornis*, o altă creatură de dimensiunea unei ciori ale cărei fosile au fost găsite în număr mare în China, în sedimente de acum 125 de milioane de ani. Părerile sunt împărțite și

nu se știe exact care dintre cele două fosile este veriga de legătură cu păsările moderne. Este posibil ca amândouă să fi fost doar experimente evolutive care nu au lăsat niciun urmaș contemporan.

Dezbaterile asupra originii păsărilor au continuat destul de inconsecvent până în 1973. Atunci John Ostrom de la Yale a observat că *Deinonychus*, o pasăre de pradă pe care o descoperise împreună cu colegii săi în Montana în urmă cu zece ani, semăna mult cu *Archaeopteryx* și cu păsările din prezent. Mai exact, cele trei falange ce compuneau palma lui *Deinonychus*, precum și încheietura foarte flexibilă, erau exact punctul de plecare necesar pentru ca un astfel de membru să devină o aripă batantă.

Dar inventarea aripilor și adăugarea ulterioară a penelor ca un fel de post-scriptum evolutiv ar fi putut să nu reușească. Penele sunt o adaptare a solzilor reptilelor, care se pot observa încă pe picioarele păsărilor. În afară de utilitatea lor pentru zbor, penele mai folosesc și la păstrarea temperaturii organismului, lucru care ar fi fost mai important pentru dinozaurii mici decât pentru cei mari. Este posibil ca puful și penele să fi apărut numai pentru faptul că oferă protecție termică.

● Cum s-a transformat un fals într-o veritabilă descoperire

Pentru a-și confirma ideile despre un predecesor logic al păsărilor, vânătorii de fosile sperau să găsească un dinozaur de dimensiuni mici și cu pene, dar fără pretenții aviare. Primele descoperiri au fost făcute în China, unde cel mai bun exemplu a fost identificat în anul 2000.

Aceasta s-a petrecut după un start fals care a cauzat probleme societății *National Geographic*. În 1999, revista a anunțat descoperirea lui *Archaeoraptor*, o creatură cu cap, corp și picioare de pasăre, dar cu coadă de dinozaur. A fost aclamată ca fiind adevăratul intermediar între dinozauri și păsări. Specimenul provenea din colinele pline de fosile din provincia Liaoning, la nord-vest de Beijing, dar era procurat de la un negustor de fosile și nu rezultatul direct al unor săpături științifice.

Țăranii din Liaoning își rotunjesc veniturile adunând fosile din cretac pe care le vând oamenilor de știință și colecționarilor. Calitatea excepțională a fosilelor din faimoasele formațiuni Yixian și Jiufotang se datorează procesului de conservare. Viețuitoarele au fost ucise în masă, sufocate de căderi de cenușă vulcanică și apoi au fost depozitate în sedimentele unui lac puțin adânc ce existase acolo. Conform legii, aceste specimene n-ar fi trebuit să părăsească China, dar câteva dintre cele mai valoroase au fost scoase ilegal din țară, așa cum s-a întâmplat și cu *Archaeoraptor*.

În anul 2000, *National Geographic* a primit un e-mail nu prea cordial de la Xu Xing de la Institutul de Paleontologie a Vertebratelor din Beijing. Acesta vizitase Liaoning căutând alte exemplare de *Archaeoraptor* și cumpărase de la un țăran

perechea trofeului obținut de *National Geographic*. Adică exact cealaltă jumătate a pietrei care fusese despicată pentru a dezvălui fosila. Deși coada era identică, restul animalului era total diferit. În mesajul său, Xu spunea că este sigur că *Archaeoraptor* era un fals, confecționat din mai multe specimene.

Cineva suprapusese cu îndemânare părțile superioare ale unei păsări primitive, coada unui dinozaur mic, adăugând oasele picioarelor altei creaturi. S-a ajuns la o acerbă controversă, ca în cazul Omului de la Piltdown, o combinație între un craniu uman modern și o falcă de urangutan, despre care se susținea că a fost găsit în Anglia în 1912, și care i-a păcălit pe cercetătorii evoluționiști timp de 40 de ani. Xu a descoperit mult mai repede falsificarea păsării-dinozaur.

Cel care era responsabil nu și-a dat seama că descoperirea relicvei de dinozaur era o descoperire mult mai importantă în sine. Era cel mai mic dinozaur adult descoperit până atunci, cam cât un porumbel. Avea pene, picioare subțiri și gheare, așa cum au păsările arboricole.

La sfârșitul anului 2000, Xu și echipa sa au publicat o descriere detaliată a specimenului care a trăit cu 110–120 de milioane de ani în urmă, și pe care l-au botezat *Microraptor*. Acum existau într-adevăr dovezi convingătoare care arătau că au existat dinozauri care puteau evolua în păsări. Este ușor de imaginat modul în care reușeau să fugă din calea prădătorilor mai mari, ascunzându-se în copaci și ghemuindu-se confortabil în penele lor călduroase.

Deoarece *Microraptor* a trăit mai târziu decât *Archaeopteryx* și *Confuciusornis*, nu poate fi considerat strămoșul lor. Însă acești mici dinozauri cu pene au pregătit scena pentru experimentele evolutive neîntrerupte care au condus la apariția păsărilor de azi, și care au început în urmă cu 120 de milioane de ani. Această datare nu a fost obținută cu ajutorul fosilelor, ci cu ajutorul indicațiilor geneticii moleculare asupra celui mai vechi strămoș comun al struților și al păsărilor zburătoare.

„*Microraptor* este exact tipul de dinozaur, strămoș pentru păsări, pe care ne-am fi așteptat să îl găsim”, a spus Xu. „Fosilele noastre abia au început să-și spună povestea. Avem deja, doar din Liaoning, peste 1 000 de specimene de dinozauri cu pene și de păsări primitive.”

● O evoluție lentă și forțată

Dinozaurii mici, asemănători păsărilor, se opuneau unui curent evolutiv care-i împingea pe ceilalți către dimensiuni incredibile. Imensele creaturi care ne uimesc în muzee și în filme au fost continuu reinventate, pe măsură ce diversele lor specii au trecut prin perioade de declin sau revigorare, pe durata îndelungatei lor dominații. Nici nu prea mai contează că producătorii de filme sau copiii încurcă perioadele geologice și locurile în care ei au trăit. Giganticele carnivore bipede și titanicele erbivore patrupede continuau să apară stăruitor într-un decor mezozoic în permanentă schimbare. Era ca și cum Mama Natură ar fi rămas în pană de idei.

Primii dinozauri cunoscuți au apărut în triasic, în urmă cu 230 de milioane de ani, dar la început nu erau nici prea mari, nici prea dominatori. N-au pus stăpânire pe lumea terestră decât în urmă cu 202 milioane de ani. Aceasta s-a întâmplat atunci când deținătorii anteriori ai supremației, strămoșii crocodililor, au fost aproape decimați din cauza impactului cu o cometă sau cu un asteroid, la sfârșitul triasicului.

Acesta nu a fost un eveniment atât de grav ca acela ce avea să ducă la dispariția dinozaurilor la sfârșitul cretacului, cu 137 milioane de ani mai târziu. Dovada incontestabilă a inaugurării cosmice a erei dinozaurilor este apariția subită a unui mare număr de amprente de dinozauri carnivori în estul Americii de Nord, apariție care coincide cu îmbogățirea în iridiu – metal provenit din spațiul cosmic – a straturilor geologice corespunzătoare. Transformarea speciilor animalelor s-a încheiat în mai puțin de 10 000 de ani.

Au mai avut loc și alte impacturi cosmice în timpul supremației dinozaurilor, care s-a menținut de-a lungul jurasicului și cretacului. Aceasta a coincis, de asemenea, și cu extinderea și apoi fragmentarea ultimului supercontinent, Pangeea. Prin urmare, pentru a interpreta evoluția dinozaurilor, trebuie să ținem cont și de geografia continentelor în derivă care mai întâi se alipeau, iar apoi se fragmentau. Deșerturile și lanțurile muntoase au jucat și ele un rol important, provocând izolarea populațiilor de animale, fapt ce a înlesnit diversificarea speciilor.

Dinozaurii ne oferă șansa excepțională de a studia ritmul și modalitățile de evoluție pe uscat, de-a lungul unei perioade mari de timp. Primele colecții de fosile provin în special din America de Nord și din Europa, care au fost ultimele fragmente desprinse din Pangeea. Începând însă cu anii 1970, descoperirile făcute în Asia, Africa, Australia, Antarctica și America de Sud au conturat o imagine mai cuprinzătoare a evoluției dinozaurilor.

Pentru Paul Sereno de la Chicago – el însuși căutător de dinozauri pe mai multe continente – dublarea numărului de specii de dinozauri cunoscute până la sfârșitul secolului al 20-lea a constituit o informație suficientă pentru a trage o concluzie generală despre evoluția lor. Analiza matematică a similitudinilor și diferențelor s-a concretizat într-un arbore genealogic cu aproximativ 60 de bifurcații. În comparație însă cu prolicka dezvoltare a mamiferelor placentare care au urmat după dispariția dinozaurilor – feline, lilieci, cârțițe, maimuțe antropoide, vidre și balene – Sereno a apreciat că evoluția dinozaurilor a fost „lentă și forțată”.

Sereno a identificat nu mai mult de zece modele adaptative, pe care le-a numit subordine, și care au apărut de timpuriu în evoluția dinozaurilor, cele mai multe dispărând repede. După părerea sa, dimensiunea neobișnuită a acestor viețuitoare a acționat ca o frână împotriva diversificării lor. Erau foarte puține la număr în orice areal, trăiau separat timp îndelungat și se limitau să populeze terenuri nu prea mlăștinoase, dar bogate în vegetație. Era exclus pentru dinozaurii mari să se urce în copaci. În mod semnificativ, reptilele gigantice n-au reacționat la apariția

plantelor cu flori, în timp ce insectele și mamiferele timpurii s-au adaptat la exploatarea acestei noi resurse.

Fragmentarea Pangeei a adus mai multă diversitate în timpul cretacului. Pe măsură ce continentele s-au îndepărtat unele de altele, prădătorii comuni din jurasicul și cretacul timpuriu, ceratozaurii și alozaurii, au dispărut din estul Asiei și din America de Nord. Locul lor a fost luat de tiranozauri.

Tot pe aceste continente, titanozaurii, giganticele erbivore universal răspândite în cretacul timpuriu, au făcut loc insolenților hadrozauri. Soarta evoluției speciilor din continentele sudice se va afla doar după mai multe expediții. Sereno a concluzionat că „viitoarele descoperiri ne vor oferi cu siguranță o imagine mult mai clară asupra evoluției dinozaurilor și asupra factorilor majori care au influențat-o”.

A rămas în seama microraptorilor și a păsărilor să ocupe nișa ecologică a coronamentului copacilor. Mlaștinile, râurile și mările, pe care dinozaurii le-au evitat, au devenit curând componente ale imperiului păsărilor. Albatroșii care zboară deasupra solitarului Ocean Sudic simbolizează uimitorul potențial latent al genelor reptilelor, care a devenit vizibil abia după reducerea dimensiunilor observată la fosilele de la Liaoning. Ar trebui să fim recunoscători pentru faptul că astăzi urmașii dinozaurilor pășesc cu atâta delicatețe pe acoperișurile caselor noastre.

- *Pentru detalii asupra evenimentelor de la sfârșitul cretacului care au dus la dispariția dinozaurilor, vezi **EXTINCȚIILE, IMPACTURILE și INUNDAȚIILE BAZALTICE**. Pentru detalii despre păsările din zilele noastre, vezi **CEASURILE BIOLOGICE**. Pentru detalii despre răspunsurile evolutive la apariția plantelor cu flori, vezi **ALCOOLUL**.*



ECOLOGIA UMANĂ

progresul în afara eco-colonialismului

IN BOLIVIA, platoul înalt sau Altiplanul se află la o altitudine de 3 800 de metri, cu o atmosferă rarefiată și răcoroasă, printre maiestuoasele înălțimi înzăpezite ale Anzilor. Terenurile mlăștinoase din apropierea lacului Titicaca, marele lac al Altiplanului, sunt lipsite de vegetație. În această regiune, la sfârșitul secolului al 20-lea, fermierii indieni Aymara își duceau traiul anevoios în zonele deluroase, evitând terenurile joase. Iar dacă nu putrezeau din cauza umezelii, cartofii lor erau amenințați de înghețurile frecvente. Pentru că nu-și permiteau să cumpere fertilizatori, fermierii erau adeseori nevoiți să lase pământul acesta sterp vreme de câțiva ani, în această zonă agricolă sărăcăcioasă.

Pe același teritoriu, în urmă cu 1 000 de ani, strămoșii civilizației Aymara cunoscuseră o perioadă prosperă, în cadrul uneia dintre cele mai mari culturi preistorice din America de Sud, Tiahuanaco. Pe vremea aceea, fermierii produceau de zece ori mai multă hrană decât necesarul populației care trăiește în aceste locuri în prezent. De asemenea, exista suficientă energie liberă pentru a asambla bucățile uriașe de piatră în construcții în stil faraonic și pentru a construi temple și drumuri. Tiahuanacanii nu au fost nicidecum superficiali sau iresponsabili. Solida lor cultură ecologică a prosperat de-a lungul primului mileniu d.Hr. – o perioadă mai lungă decât cea a Imperiului Roman – până când o secetă prelungită a nimicit-o.

„Succesul lor a fost un mare mister”, afirma Oswaldo Rivera de la Institutul Național de Arheologie din La Paz. „Cum a fost posibil ca terenul semiscufundat din apropierea lacului Titicaca să susțină o astfel de cultură înfloritoare precum cea a civilizației Tiahuanaco? Noi am descoperit răspunsul în caracteristicile subtile ale peisajului, care sunt dificil de detectat de la nivelul solului, însă foarte evidente în imaginile aeriene.” Fotografiiile au indicat un model geometric de terenuri plate, ușor înălțate, de aproximativ 200 de metri lungime și 5–10 metri lățime, separate prin canale, ca și cum un imens dispozitiv pentru copt vafe ar fi funcționat pe întreaga câmpie.

Începând din anul 1984, în colaborare cu Rivera, Alan Kolata de la Universitatea Chicago a efectuat excavații care au dezvăluit forma și modul de funcționare al terenurilor cultivate, înainte de a fi lăsate în paragină. Această tehnologie era

extrem de meticuloasă. Mai întâi, tiahuanacanii delimitau suprafața terenului cu pietre și cu argilă, pentru a-l proteja de inundațiile cu apă sălcie de la suprafața pânzei freatice. Apoi așezau un strat de nisip și pietriș pentru a asigura un drenaj superior culturii în creștere. Deasupra acestora se punea pământul.

Secretul succesului a constat în apa din canalele de irigație care mărgineau parcelele vecine. Aceasta absorbea căldura în timpul zilei și o radia pe timpul nopții, protejând cultura împotriva înghețului. În canale s-au dezvoltat plante de apă, rațe și pești. Acestea nu doar au îmbogățit dieta tihuanacanilor, ci au și asigurat sedimente bogate în elemente nutritive pentru fertilizarea solului.

Arheologii i-au convins pe fermierii localnici să testeze sistemul strămoșilor lor. Deși aceștia s-au opus mai întâi, până la urmă l-au pus în aplicare. Rezultatele au fost spectaculoase, ei reușind să obțină recolte de două până la cinci ori mai mari decât înainte. Alți fermieri au aplicat și ei metoda, folosind uneori terenuri supraînălțate care se păstrasera din antichitate și alteori terenuri reamenajate de ei.

Populația Aymara nu a uitat să-i mulțumească lui Pacha-Mamma, zeița Pământului din tradiția lor, la festivalurile de sărbătorire a recoltelor. În timpul unui astfel de festival, Kolata a explicat starea lor euforică. „Pe această câmpie nu s-a desfășurat niciodată vreo activitate agricolă. Aymara-șii nu au crezut vreodată că ar fi posibilă obținerea unei recolte în această regiune, iar acum ei văd cu ochii lor cum cresc acești *papas* uriași, acești cartofi.”

La începutul anilor 1990, sistemele agricole străvechi au fost repuse în practică și pe partea peruviană a lacului Titicaca. În alte așezări, pe câmpiile de coastă din Columbia și Ecuador și în străvechile teritorii mayașe din America Centrală, tehnicile agricole adaptate condițiilor zonelor depresionare au fost redescoperite de arheologi și implementate prin teste locale. După o jumătate de mileniu de desconsiderare colonială și post-colonială a metodelor „învechite” ale nativilor americani, situația s-a inversat.

Morala acestei istorisiri se referă la expertiză. Dacă s-ar reinventa terenurile supraînălțate, ar fi necesară analiza specialiștilor din domeniile fizicii, geologiei, hidrologiei, ingineriei hidraulice, biologiei, agronomiei și climatologiei, precum și modelarea computerizată a dinamicii acestui sistem. Într-adevăr, astfel de abilități erau necesare, tocmai pentru a interpreta ceea ce tiahuanacanii realizaseră în mod empiric.

Nici incașii care au venit apoi la putere, nici coloniștii spanioli care au înlocuit civilizația incașă, nu au putut egala productivitatea agricolă a tiahuanacanilor. La data sosirii experților internaționali în agricultură, în anii 1950, pentru a oferi consultanță bolivienilor în ceea ce privește tehnicile agricole moderne, aceștia nu au putut oferi nicio sugestie pentru Altiplan, care să nu necesite fonduri considerabile. Timp de aproape 1 000 de ani pământul a rămas sterp din cauză că cei care s-au crezut inteligenți nu erau deloc așa cum se credeau.

● Ce au arătat sateliții

Aroganța așa-zişilor experți, fie ei din țările bogate, din organizațiile internaționale sau din capitalele țărilor în curs de dezvoltare, a devenit insuportabilă în cea de a doua jumătate a secolului al 20-lea. Asociindu-se cu industrii, guverne, organizații filantropice sau mișcări ecologiste, experții au considerat că e de datoria lor să îi învețe pe locuitorii regiunilor îndepărtate, despre care nu prea aveau habar, cum ar trebui să trăiască. Drept urmare, lumea s-a umplut de deșeurile proiectelor de dezvoltare sau de conservare greșit concepute.

Uneori aceste cicatrici sunt vizibile chiar și din spațiu. Comparând cu hărțile vechi cele mai recente imagini satelitare ale Mării Aral din fosta Asie Centrală Sovietică, se observă o mlaștină asanată. Experții din Moscova au proiectat sisteme de irigație pentru plantațiile de bumbac, la o asemenea scară și folosind tehnici pe care râurile ce se varsă în Marea Aral nu le puteau susține. Nimănui nu i-a pasat de comunitățile pescărești, care au rămas fără aprovizionare. Furtunile de nisip au devenit furtuni de sare din cauza plajelor secate. Culmea ironiei este că, înainte de a fi cucerite de țarii ruși, popoarele din Uzbekistan și Turkmenistan dețineau sisteme de irigație la scară largă, însă acestea fuseseră proiectate într-un mod „învechit”, dar viabil.

În Kenya, imaginile spațiale evidențiază regiuni întinse de deșert artificial, generat de pășunatul excesiv. Acestea sunt rezultatul direct al politicilor care obligau populațiile de păstori nomazi să se stabilească într-o anumită zonă pentru a putea beneficia de serviciile medicale și educaționale specifice vieții sedentare. Se presupunea că oamenii importanți, cum sunt doctorii și profesorii, nu ar fi acceptat niciodată să-i urmeze pe nomazi și vitele lor în timp ce aceștia cutreierau semi-deșerturile în căutarea vegetației sezoniere foarte nutritive. Turmele sedentare au devastat împrejurimile în care se aflau și astfel frumosul lac albastru Baringo de altădată a devenit maro din cauza pământului adus de vânt.

Distrugerile provocate de elefanți în Botswana și în alte regiuni din Africa de Sud sunt și ele vizibile din spațiu. Experții au propus un set de reguli internaționale pentru protecția elefanților, și au obținut susținerea politicianilor. Astfel, la sfârșitul secolului al 20-lea, populațiile de elefanți din unele regiuni au crescut depășind resursele de hrană ale acelor zone, ceea ce a dus la distrugerea vegetației pe arii largi. Din nou, populațiile băștinașe și viața sălbatică, naturală, au trebuit să îndure consecințele unor decizii externe, luate de la distanță.

Imaginile satelitare au arătat, de asemenea, distrugerea pădurilor în urma activităților umane. Atunci când s-a dovedit că aceasta se petrece într-un ritm alarmant în nord-vestul Statelor Unite și în Finlanda, faptele au fost ascunse opiniei publice. Ceea ce s-a aflat a fost doar că brazilienii defrișau pădurile tropicale amazoniene.

Într-adevăr, sateliții au indicat defrișări masive în apropierea șoselelor și a râurilor, dar și regiuni întinse de pădure neafectate de activitatea umană. Măsurătorile

precise ale oamenilor de știință americani, obținute prin intermediul imaginilor satelitare Landsat, au indicat că rata de defrișare în regiunea amazoniană a atins un punct culminant în anii 1980, cu o rată de 0,3% pe an, însemnând mai puțin de un sfert din rata de defrișare a unor păduri din Statele Unite. Cu toate acestea, copiii din școlile occidentale învățau la școală despre dispariția iminentă a jumătate din pădurea tropicală amazoniană, ca și cum acesta ar fi fost deja un fapt împlinit.

● Indicații date străinilor

În Europa, America de Nord și Uniunea Sovietică, descendenții celor care au creat multe dintre problemele ecologice mondiale în timpul epocii colonialismului s-au simțit îndreptățiți să dea indicații străinilor. Unii chiar au vorbit despre noua misiune a omului alb. Țările mai sărace ale lumii primeau instrucțiuni contradictorii: „Dezvoltați-vă – în acest fel! Nu, nu vă mai dezvoltați – mențineți-vă!”

Indicațiile respective le erau deseori transmise prin organizațiile Națiunilor Unite și prin Banca Mondială. Aceasta nu schimba cu nimic faptul că ele reprezentau de obicei teorii ale „fețelor palide” impuse oamenilor de culoare. Proiectele erau uneori marcate de ignoranță ecologică sau/și etnografică.

Într-un caz de notorietate, o tentativă de a introduce orez de înaltă productivitate în regiunile izolate din Liberia a eșuat. Aceasta s-a întâmplat din cauză că experții care s-au deplasat la fața locului au discutat doar cu bărbații din sate, fără să-și dea seama că femeile erau, de fapt, experte în cultivarea orezului. Astfel încât, primind acele semințe necunoscute de la bărbații lor, despre care ele nu știau nimic, femeile le-au gătit pur și simplu și le-au servit la cină.

Environmentalismul s-a dezvoltat începând cu anii 1960 în țările care au devenit bogate prin arderea combustibililor fosili și în care cea mai mare parte a străvechilor păduri fusese distrusă cu mult timp în urmă. Nimic nu ar fi putut îngrădi dreptul dat de Dumnezeu de a poseda un automobil. Însă acolo, orașenii care în viața lor nu se confruntaseră cu foamea sau cu șerpii, se considerau autorizați să vorbească în numele întregii planete și al ecosistemelor sale fragile.

Cele mai sonore au fost organizațiile nonguvernamentale din Europa și din America, prin intermediul cărora tot felul de activiști autoprocamați au încercat să conducă lumea. Necesitatea evidentă a unor acțiuni de protejare a planetei a promovat mesajul: „Nu faceți ca noi, faceți cum spunem noi”. Oamenii de știință în măsură să combată această ipocrizie, cei din China de exemplu, nu au ezitat să o denumească eco-colonialism.

● Eșecul din Samoa

Trebuie să fie umilitor pentru noi faptul că samoanii au fost conservatori timp de 3 000 de ani. Într-adevăr, strămoșii lor de acum o sută de generații au transportat cu canoa plante de cultură și animale în insulele izolate ale Pacificului. Acest fapt a influențat semnificativ viața sălbatică existentă. Însă de atunci samoanii s-au

descurcat foarte bine, cu doctrinele *aiga* (familie extinsă, n. red.), cuprinzând cultura și agricultura, și *taboo*, pentru lucruri prohibitive.

Sistemul lor economic te evaluează nu după ceea ce posezi ci după ceea ce dăruiești, astfel că în fiecare zi e Crăciun în Samoa. De asemenea, include metode de ajutor reciproc. Cercetări ale oamenilor de știință din Noua Zeelandă au evidențiat faptul că, în afara grădinilor din sat și a recoltelor destinate vânzării, existau regiuni întinse de teren fertil de rezervă, necultivat, pe care plantele creșteau în voie. Iar când un taifun a lovit Samoa în anul 1990, oamenii au avut rezerve de hrană puse deoparte special pentru cazurile de dezastru.

La această nație, care a dat un bun exemplu de ecologie umană întregii lumi, au sosit experții organizațiilor nonguvernamentale occidentale pentru a-i învăța pe băștinași cum să-și protejeze pădurile tropicale. Prietenosii samoanii au fost deschiși față de propunerile oaspeților lor și au organizat câteva rezervații pe teritoriul satelor lor, până când aceștia au început să își aroge drepturi de oficialități colonialiste. Atunci, șefii satelor i-au alungat fără prea multe comentarii.

Foarte uluit de acest eșec a fost Paul Cox, de la Universitatea Brigham Young din Utah, care a trăit și a lucrat în Samoa timp de câțiva ani și care vorbea samoana. Fiind etnobotanist, el a învățat de la samoani tainele prețioase ale plantelor specifice pădurii tropicale și proprietățile lor medicinale. Când a descoperit o plantă care ar fi putut ameliora cumplita maladie SIDA, el s-a asigurat că samoanii vor primi o taxă de redevență de 20% din orice profit realizat din comercializarea acesteia. Cox participase, de asemenea, la o acțiune de recuperare a drepturilor de proprietate asupra pădurilor tropicale ce erau defrișate de companii forestiere și de reacordare a acestora localnicilor.

În 1997, când experții vizitatori au fost trimiși să-și facă bagajele, Cox a publicat un comentariu despre comportamentul lor, împreună cu Thomas Elmqvist de la Centrul Suedez pentru Biodiversitate. „Principiile controlului indigen”, au comentat aceștia, „au fost neașteptat de dificil de acceptat de către organizațiile conservatoare occidentale care, în ultimă instanță, nu au fost de acord să cedeze autoritatea decizională populației indigene. Dimpotrivă, eco-colonialismul, adică impunerea paradigmelor conservatoare occidentale și a structurilor lor de putere în fața populației indigene, s-a dovedit a fi incompatibil cu conceptele băștinașe de conservare și de demnitate umană”.

● O abordare superioară a vânatului

În secolul al 21-lea, experții și activiștii consideră că există indicii de progres în afara eco-colonialismului. Unul dintre acestea se referă la braconaj, care înseamnă vânarea animalelor sălbatice pentru hrana omului. Pădurile din vestul și din centrul Africii asigură o mare parte a proteinelor consumate de populația subnutrită din regiune. Cimпанzeii, gorilele, maimuțele, elefanții, antilopele, pangolinii, porcii mistreți, rozătoarele, șerpilor, crocodilii, șopârlele, broaștele țestoase, păsările

calao, precum și turaco cu creasta colorată – toate sunt specii pe cale de dispariție, din cauză că sunt vâdate excesiv pentru a asigura hrana oamenilor.

În trecut, conservatorii considerau că cei ce practicați acest gen de vânătoare sunt niște oameni răi sau proști și că erau necesare acțiuni legislative sau de educație pentru a-i face să renunțe la acest obicei. Cu alte cuvinte, un african rațional ar trebui mai degrabă să-și lase copiii să moară de foame decât să-i hrănească cu o pasăre calao ușor de prins din rezervele naturii. Într-o abordare mai compasivă, locuitorii pădurilor vor suferi, de asemenea, în eventualitatea în care speciile sălbatice vor fi decimate în deceniile următoare. O soluție inteligentă ar fi aceea de a le oferi resurse alternative de proteine, astfel încât aceștia să nu mai fie nevoiți să vâneze atât de mult.

Acest fapt a implicat o primă etapă de evaluare a cantității necesare de proteine. S-a estimat o valoare de aproximativ 2 milioane de tone pe an. În căutarea soluțiilor, Campania Britanică Antibraconaj a reunit peste 30 de organizații nonguvernamentale, preocupate atât de acordarea de asistență socială cât și de protecția mediului. Campania a asociat în mod explicit supraviețuirea speciilor, cum ar fi cimpanzeii și gorilele, cu dezvoltarea și alimentarea popoarelor din vestul și din centrul Africii.

„Am inversat tehnica normală orientată spre protejarea speciilor”, a declarat John Fa de la Durrell Wildlife din Jersey, coordonator al cercetării braconajului din Nigeria și Camerun, „căutând modalități de a salva populația umană pentru ca, în ultimă instanță, să salvăm și speciile sălbatice din regiune”.

● Speranțe de supraviețuire?

Pe scena internațională, la începutul secolului al 21-lea, capacitatea de a menține viața reprezintă expresia-cheie. Cum ar putea umanitatea, cu o populație în continuă creștere și aspirații către un standard de viață ridicat, să evite epuizarea resurselor de hrană, deteriorarea mediului înconjurător și exterminarea speciilor? Aceasta a constituit tema a două Summituri pe tema Pământului, ce au avut loc la Rio de Janeiro în 1992 și la Johannesburg în 2002. Schimbarea climei și pericolul dispariției vieții sălbatice au fost principalele subiecte ale primului summit, iar administrarea eficientă a resurselor globale pentru asistarea țărilor sărace a constituit scopul celui de-al doilea.

Aceste probleme își au originea în anul 1798, când Thomas Malthus de la Cambridge a publicat *An Essay on the Principle of Population* (*Un eseu asupra principiului populației*). „S-a afirmat că marea întrebare acum în discuție”, a scris el, „este dacă omul va progresa într-un ritm accelerat spre depășirea limitelor, și astfel spre o dezvoltare inimaginabilă, sau va cădea victimă unei oscilații eterne între fericire și nefericire, fiecare efort al său menținându-l la o distanță incomensurabilă de ținta propusă”.

Răspunsul său a fost unul pesimist. El a concluzionat că suferința este soarta naturală a umanității, deoarece creșterea în progresie aritmetică a necesităților

vieții nu ține pasul cu creșterea în progresie geometrică a populației. „Considerând orice număr al populației, o mie de milioane, de exemplu”, a scris el, „numărul indivizilor speciei umane va crește într-un ritm de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 etc. în timp ce mijloacele de subzistență vor crește într-o progresie de genul 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 etc.”.

Raționamentul lui Malthus a avut un răsunet chiar până în perioada modernă, deoarece mulți l-au preluat și transmis până în secolul al 21-lea, deși s-a dovedit a fi fals. După o creștere semnificativă a numărului populației în lumea industrializată a secolului al 19-lea, în jurul anului 1930 a avut loc o adevărată explozie demografică. La sfârșitul secolului al 20-lea numărul populației umane crescuse de aproximativ șase ori față de perioada în care a trăit Malthus, însă suferința s-a diminuat per ansamblu.

Resursele necesare vieții, inclusiv hrana, erau suficiente pentru a susține o populație în continuă creștere, în pofida prognozelor care afirmau contrariul. Speranța de viață a crescut, indicând incontestabil condiții superioare de viață. Explozia demografică nu s-a conformat așteptărilor lui Malthus. În jurul anului 1970, rata creșterii s-a mai domolit. Din această inflexiune se putea deduce că populația, care deja începea să se stabilizeze în orașele industrializate, va urma aceeași tendință și la nivel global, ajungând probabil la 10 miliarde până la sfârșitul secolului al 21-lea.

Totuși, încă se mai vehiculau predicții sumbre, iar când foametea prezisă la scară mondială a întârziat să apară, neomalthusienii și-au reformulat teoria. Ei au început să susțină că ființele umane pot trăi în bune condiții pentru o perioadă de timp, însă pe termen lung planeta va suporta consecințele negative. Ei s-au referit în special la problemele legate de resursele naturale și de mediul înconjurător.

S-a prezis că lumea își va epuiza resursele de petrol și de alte metale importante înainte de sfârșitul secolului al 20-lea, însă nici aceasta nu s-a petrecut. Apoi mai existau probleme legate de poluarea aerului, a apei și a solului. Un studiu renumit al lui Dennis Meadows și al colegilor săi de la Institutul de Tehnologie Massachusetts, publicat în anul 1972 sub denumirea de *Limits to Growth* (*Limitele Dezvoltării*), a utilizat un model computerizat rudimentar pentru a înfățișa urmările poluării nocive (neobservate, se presupune) care ar avea efecte devastatoare în rândul populației.

Din acesta rezulta faptul că ființele umane ar fi sortite pieirii în cazul în care nu se punea capăt dezvoltării economice. Aceasta nu s-a întâmplat, iar ființele umane nu au pierit – cel puțin nu din cauza unei poluări masive. Poluarea s-a diminuat printr-un control eficient, combinând tehnologii nepoluante și politici de control, care au împiedicat creșterea acesteia la nivelul prevăzut în *Limits to Growth*. Anumiți agenți organici poluanți continuă să se mai răspândească într-un ritm alarmant, însă speranța de viață a oamenilor este în continuă creștere.

Faptul că predicțiile sumbre ale lui Malthus au fost infirmate în repetate rânduri nu reprezintă o garanție în ceea ce privește viitorul, pe măsură ce populația

continuă să se înmulțească. Astfel, s-au luat din nou în considerație o serie de probleme: de la distrugerea habitatelor naturale și a speciilor, la posibilele consecințe nefaste, via schimbarea climatică, ale dioxidului de carbon emanat în aer în urma activităților umane. Acestea au constituit principalele semnale de alarmă internaționale de la începutul secolului al 21-lea.

● „Optimismul este obligatoriu”

„Zidul de piatră al dificultăților cu care se confruntă miliardele de săraci din întreaga lume asigură degradarea constantă a resurselor naturale”, a scris Erik Eckholm de la Institutul Internațional pentru Mediu și Dezvoltare, în 1982. Divizarea lumii în regiuni bogate și sărace și menținerea acesteia prin condițiile inechitabile de comerț a constituit pentru mulți observatori o justificare solidă a pesimismului malthusian în ceea ce privește capacitatea de menținere a vieții. Summitul de la Johannesburg din 2002 s-a concentrat asupra acestei probleme, fără să se obțină mari progrese în direcția soluționării ei. Între timp, oamenii bogați au fost extrem de surprinși de faptul că cei săraci acceptă să vândă mahon, fildeș sau heroină, când ei nu pot obține un preț bun pentru cafeaua sau zahărul lor.

„Optimismul este obligatoriu”, a declarat un scriitor specializat în domeniul științific, Ritchie Calder de la Edinburgh. Încă de pe vremea lui Malthus, doctrina foametei inevitabile a fost folosită pentru a justifica menținerea în sărăcie a oamenilor deja săraci. La mijlocul secolului al 20-lea s-a răspândit speranța într-o viață mai bună cu ajutorul științei și al tehnologiei. S-a preconizat că ecosistemul uman ar putea fi în curând îmbunătățit în vederea abolirii foametei, bolilor infecțioase, analfabetismului și dificultăților materiale. La sfârșitul secolului, balanța a fost înclinată în favoarea pesimismului, iar environmentalismul a fost destul de pătat de atitudinea ludă de respingere a tehnologiei.

De la câmpiile supraînălțate ale culturii Tiahuanaco la microcipuri, inovațiile au influențat în mod constant condiția umană în moduri surprinzătoare și, în general, benefice. Energia provenind de la combustibilii fosili, fertilizatorii artificiali, irigația și semintele hibride au combătut raționamentul lui Malthus timp de 200 de ani. Astfel, optimiștii pot încă spera că previziunile sumbre referitoare la ecologia umană nu se vor adeveri nici pe viitor, deoarece acestea nu iau în considerare inventivitatea umană.

- *Pentru informații despre un alt exemplu de dezinformare datorată experților, vezi EL NIÑO. Pentru alte aspecte ale conservării mediului și ecologiei, vezi BIOSFERA DIN SPAȚIU, BIODIVERSITATE, EVOLUȚIA ECOLOGICĂ și PRĂDĂTORII. Referitor la situația alimentelor, vezi CEREALELE și CULTURILE TRANSGENICE. Referitor la climă, vezi SCHIMBĂRI CLIMATICE și CICLUL CARBONULUI. Referitor la inovații care conduc la rezultate notabile folosind resurse infime, vezi FULLERENE și NANOTUBURI.*



ELEMENTELE CHIMICE

O moștenire a emanației stelare, a gigantelor roșii
și a piticelor albe

D EȘI ESTE LA FEL DE RĂSPÂNDIT ÎN SCOARȚA TERESTRĂ ca și cuprul, ceriul este adesea considerat un element ezoteric. El face parte din acel grup pe care scriitorul italian Primo Levi l-a numit „grupul echivoc și eretic al pământurilor rare”. Cериul a fost subiectul celei mai subtile anecdote pe care Levi a povestit-o în cartea sa *Il sistema periodico* (1975), referitoare la elementele chimice – instrumentele profesiei sale de inginer chimist.

Luat prizonier în lagărul de exterminare de la Auschwitz pentru că era evreu, el a scăpat de moarte făcându-se util într-un laborator. Totuși, a fost în pericol să moară de foame înainte ca Armata Roșie să-i elibereze din lagăr, în 1945. În laborator, Levi a descoperit niște baghete gri neetichetate care scoteau scântei dacă erau zgâriate cu un briceag. Le-a identificat ca fiind un aliaj de ceriu, folosit de obicei la producerea aprinzătoarelor pentru brichete.

Prietenul său Alberto i-a spus că o astfel de cremene valora cât rația zilnică de pâine pe piața neagră a lagărului. În timpul unui raid aerian, Levi a furat baghetele de ceriu și cei doi prizonieri și-au petrecut nopțile cioplindu-le sub o pătură până ce au încăput printr-un orificiu de dimensiunea țevii de pușcă, făcut într-o placă metalică. Alberto a fost luat înainte să vină rușii și nu a mai fost văzut niciodată, dar Levi a supraviețuit.

Mama Natură nu s-a dat în lături de la nimic pentru a crea, din particule nucleare – protoni și neutroni, abundența de elemente chimice care face lumea nu doar locuibilă, ci și minunată. Producerea ceriului, cel care i-a salvat viața lui Levi, a presupus moartea unor stele mult mai mari decât Soarele. Ceea ce a rămas în urma lor a trebuit să fie stocat pentru a se crea alte stele și planete. Din perspectiva noastră, minunata concentrare de stele pe care o numim galaxia Calea Lactee este un alambic vechi de 12 miliarde de ani în care se produce materia de care avem nevoie.

Se consideră că hidrogenul și heliul primordiale, amestecate cu puțin litu, sunt produsele formidabilei explozii inițiale, Big Bang. Nucleele atomice ale tuturor celorlaltor elemente au fost sintetizate în stele care au îmbătrânit și au murit înainte de apariția Soarelui și a Pământului. Ele se împart în mod firesc în

elemente ușoare și grele, produse în principal de stele mai ușoare și respectiv mai grele. Fuziunea nucleară din care rezultă energia Soarelui și a stelelor creează din hidrogen heliu suplimentar, plus câteva zeci de duzini de alte elemente cu o masă atomică din ce în ce mai mare, până la fier. Acestea sunt elementele chimice obișnuite.

Cele mai răspândite sunt acelea ale căror mase atomice sunt multipli ai masei omniprezentului heliu-4. Printre ele se numără și carbonul-12 și oxigenul-16, cărămizile vieții, precum și siliciul-28 care este utilizat atât la crearea planetelor cât și a microcipurilor. Stelele de dimensiuni medii au emanat mulți astfel de atomi ușori, după care s-au stins din cauza lipsei combustibilului de hidrogen. Fierul-56, cel care colorează sângele, conferă proprietăți magnetice Pământului și este folosit la construcția autovehiculelor, provine în special din stele puțin mai mari decât Soarele care au evoluat, devenind pitice albe care explodează.

Reacțiile nucleare necesare pentru producerea elementelor mai grele, care urmează după fier, absorb energia în loc să o degaje. Cele mai productive fabrici de elemente chimice au fost stelele mari în care, spre sfârșitul vieților lor strălucitoare dar scurte, temperaturile creșteau până la miliarde de grade și totul era inundat cu neutroni, rezultând alte 66 de elemente. Din stelele cele mai mari, exploziile finale au răspândit din belșug în spațiul interstelar nuclee de zinc, de bismut și de uraniu și chiar elemente mai grele, prea grele pentru a supraviețui mult timp. Exploziile au lăsat în urma lor doar miezuri comprimate ale stelelor de la care proveneau.

Analiza spectrală a luminii emise de stele permite astronomilor să identifice stelele vechi, plasate într-un halo în jurul Galaxiei, care s-au format atunci când toate elementele mai grele decât heliul erau mult mai rare decât astăzi. Procesul de formare a stelelor era mai dificil pe atunci, deoarece elementele participau și ele, absorbind căldura gazelor emantate. Fără contribuția lor, stelele ar fi fost probabil mai mari decât acum, ceea ce ar fi putut influența dimensiunile elementelor pe care le produceau. În orice caz, stelele cele mai mari trăiesc cel mai puțin, fiind primele care explodează. Observând multe dintre stelele străvechi din halo, astronomii au început să înțeleagă tendințele în producerea timpurie a elementelor chimice în istoria Galaxiei noastre, pe măsură ce stelele explozive deveneau tot mai puțin masive.

„Unele elemente chimice nu se formează până când stelele care le produc nu au avut suficient timp ca să evolueze”, a remarcat Catherine Pilachowski de la Observatorul Astronomic Național al SUA, în 2000, după ce studiasse aproape 100 de stele din haloul galactic. „Prin urmare, putem afla istoria formării stelelor din compozițiile celor mai vechi stele.” Conform echipei lui Pilachowski, masa tipică a stelelor explozive a scăzut, ajungând de zece ori mai mică decât masa Soarelui, la aproximativ 30–100 de milioane de ani de la formarea primelor stele din galaxia Calea Lactee. Aceasta se petrecea pe când producția pământurilor rare „eretice” ale lui Primo Levi era în toi.

● Astronomia după Hoyle

„Mărețul concept al nucleosintezei stelare a fost pentru prima dată enunțat de către Hoyle în 1946.” Această afirmație a fost făcută de William Fowler de la Caltech, în 1983, când, pentru această descoperire, i s-a decernat Premiul Nobel pentru fizică, Fred Hoyle de la Cambridge fiind în mod inexplicabil ignorat. Contribuția lui Hoyle nu prea poate fi exagerată. În timp ce descifra procesele stelare de sinteză nucleară, el i-a învățat câte ceva pe fizicienii nucleariști. Crucială pentru existența noastră a fost o stare excitată a nucleelor de carbon, descoperită de acesta, care favoriza supraviețuirea carbonului în furnalele stelare.

În 1957, Hoyle și Fowler, împreună cu Margaret și Geoffrey Burbidge, au publicat o lucrare devenită clasică despre formarea elementelor chimice în stele, care a fost cunoscută mai târziu ca B²FH, de la Burbidge, Burbidge, Fowler și Hoyle. După cum a afirmat Hoyle într-un manual ulterior, „Stelele-mamă sunt acum pitice albe stinse sau stele neutronice superdense pe care nu le putem identifica din lipsă de mijloace. Acesta este așadar răspunsul la întrebarea din poezia lui Blake, *Tigrul*, «În ce cuptor ți-a fost creierul?»”.

În timp ce citiți aceste rânduri, funcționarea creierului dumneavoastră depinde înainte de toate de faptul că potasiul se comportă foarte asemănător cu sodiul, dar are atomi mai mari. Pentru fiecare impuls, o celulă nervoasă elimină potasiu și primește sodiu, prin așa-numitele canale ionice și apoi revine rapid la starea inițială, pregătindu-se pentru următorul impuls. Repetarea proprietăților chimice similare la atomi de mase și mărimi diferite i-a dat posibilitatea lui Darwin al chimiei, Dmitri Mendeleev din Sankt Petersburg, să prezică, în 1871, existența unor elemente chimice încă nedescoperite doar din lacunele existente în tabelul său periodic – *il sistema periodico*, în italiana lui Levi.

Când fizicienii atomiști au invadat, neinvitați, chimia, la începutul secolului al 20-lea, ei au explicat tabelul periodic și legătura chimică ca pe un joc cu numere. Acestea sunt structurate în funcție de sarcina electrică a nucleului atomic, care este egală cu numărul electronilor ordonați pe niveluri în jurul nucleului. Numărul electronilor din stratul exterior determină proprietățile chimice. Astfel, sodiul are 11 electroni iar potasiul 19, dar la ambii un singur electron, aparținând stratului exterior, se poate detașa ușor, făcând posibilă joaca lor de-a v-ați ascunselea, înăuntrul și în afara celulelor creierului dumneavoastră.

Un joc asemănător al numerelor, cu structuri organizate pe straturi în interiorul nucleelor atomice, explică de ce unele nuclee sunt stabile, iar altele nu. Atomii multor elemente, în special izotopii cu mase atomice necorespunzătoare, dispar din scenă fie emițând atomi mici datorită fenomenului radioactivității, fie separându-se în două elemente prin procesul de fisiune nucleară. Drept urmare, în tabelul periodic al lui Mendeleev, lista elementelor chimice naturale de pe Terra se încheie cu uraniul, cel cu numărul atomic 92 și cu o masă atomică de 238 de ori mai mare decât cea a hidrogenului.

Fizicienii au descoperit că ar putea crea elemente mai grele, transuranice, în reac-toare nucleare sau în acceleratoare de particule. Cel mai cunoscut a fost plutoniul care și-a demonstrat, în 1945, capacitatea de a fisiona, reducând cea mai mare parte a orașului Doamnei Butterfly, Nagasaki, la niște dărâmături radioactive. Rămășițe de plutoniu natural au fost descoperite ulterior în meteoriți – în urmele lăsate de produșii săi de fisiune. În 1996, fizicienii din Germania au obținut ele-mentul cu numărul 112, care este de 277 de ori mai greu decât hidrogenul, bom-bardând atomi de plumb cu nuclee de zinc. Trei ani mai târziu, o echipă rusă a anunțat fabricarea elementului „supergreu” 114 prin bombardarea plutoniului cu calciu, având o masă atomică de 289 unități.

Sistematizarea reușită, la nivel nuclear și electronic, a tuturor elementelor chimi-ce, a izotopilor lor și a comportamentului lor chimic – care, în cele mai mici detalii, îi chinuie pe studenți – n-ar trebui să ne îndepărteze atenția de la uluitoarea creativitate a materiei neînsuflețite. Mama Natură a produs în masă particule elementare, de la electronii ușori la quarcii grei, de diferite arome. Quarcii s-au adunat câte trei pentru a forma protonii și neutronii, care au posibi-litatea să se transforme unul în altul prin modificarea aromei unui quarc.

De la acest început modest, materia lipsită de rațiune a strâns 118 neutroni, 79 protoni și 79 electroni și astfel a inventat aurul. Electronii liberi ai acestui ele-ment reflectă strălucitor lumina galbenă, rezistând cu noblete la pierderea luci-ului datorită chimiei ocazionale. „A fabrica” aur cere o iscusință asemănătoare celei necesare pentru transformarea bacteriilor în dinozauri și orice fizician ar trebui să se întrebe, „Cum de este aurul implicat în caietul de sarcini al cosmo-sului?”. Sincer vorbind, astrofizicienii nu știu foarte bine de ce există atât de mult aur, iar câțiva au sugerat că ar fi fost nevoie de coliziuni stelare.

Hoyle a dat un nou sens întrebării „de unde provin elementele?”. Analiza meteo-riților a ajutat la completarea lacunelor. În cele mai vechi pietre căzute din cer, unele granule microscopice datează de dinaintea sistemului solar. Elementele lor, diferind prin proporțiile de izotopi cu mase diferite, sunt urmele stelelor indivi-duale care au contribuit la zestrea de elemente a Pământului. În 2002, unul din-tre cei mai activi genealogiști stelari, Ernst Zinner de la Universitatea Washing-ton din Missouri, identificase câteva tipuri de stele-mamă. Acestea erau stele cu masă mică până la medie, care se apropiau de sfârșitul existenței lor ca gigante roșii, nove care se debarasau periodic de straturile exterioare și stele masive care explodau ca supernove.

„Granulele străvechi din meteoriți sunt cea mai clară dovadă a obârșiei Pămân-tului în stele demult dispărute și confirmă faptul că și noi suntem făcuți din pul-bere de stele”, a spus Zinner. „Marea mea speranță este că, într-o zi, vom găsi mai multe tipuri de asemenea fosile stelare și noi surse de granule de dinainte de crearea Soarelui, poate în probe luate dintr-o cometă și aduse pe Pământ pentru examinare. Atunci am putea avea o imagine mai completă a precursorilor noștri cerești.”

Între timp, astrofizicienii și astrochimiiștii pot studia fabricile de elemente și procedeele folosite, prin identificarea materialelor adăugate mult mai recent în alambicul Căii Lactee. Elementele nou create apar în norii de gaz și de praf care sunt rămășițele stelelor ce au explodat în evenimentele uluitoare cunoscute drept supernove. Deși „supernova” înseamnă literal un fel de stea nouă, ele sunt de fapt stele bătrâne care explodează. Istoria a înregistrat câteva asemenea cazuri.

● „Cel mai mare miracol”

Zvonurile de la curtea Chinei spuneau că astronomul imperial s-a prosternat în fața suveranului și a anunțat: „Am observat apariția unei stele oaspete”. În vara anului 1054, steaua luminoasă pe care astăzi o numim Aldebaran, din constelația Taurului, a dobândit un vecin mult mai strălucitor. Oaspetele a fost vizibil chiar și pe timpul zilei timp de trei săptămâni, iar pe timpul nopții – mai bine de un an.

O jumătate de mileniu mai târziu, în sudul Suediei, un tânăr agitat cu un nas de aur care îi ascundea desfigurarea cu care se alesese în urma unui duel îi oprea pe trecători, le arăta constelația Casiopeea și le cerea să-i spună câte stele puteau să vadă. Cu toate că astronomului danez Tycho Brahe nu-i venea să-și creadă ochilor, în acea seară de noiembrie a anului 1572 descoperise o nouă stea.

În lunile ce au urmat, pe măsură ce steaua se stingea, cartea sa *De Nova Stella* l-a făcut faimos în lumea creștină. Neîmpiedicat de modestie sau de sinologie, Tycho a afirmat că evenimentul era poate „cel mai mare miracol de la facerea lumii”. În 1604, elevul său, Johannes Kepler din Praga, a descoperit la rândul lui o nouă stea, „în piciorul Purtătorului Șarpelui” – adică în constelația Ophiucus, cum am spune astăzi.

În 1987, în mina de zinc de la Mozumi, Japonia, apa din interiorul unui rezervor experimental al Observatorului Kamioka a scintilat cu o lumină de culoare albastru-deschis. S-a întâmplat de 11 ori în 13 secunde, înregistrându-se o explozie de particule subatomice fantomatice numite neutrini (sau neutrino), care a fost sesizată și de detectoarele de neutrini din Ohio și din fosta URSS. Deși detectați în număr scăzut din cauza interacțiunii lor repulsive cu materia obișnuită, mii și mii de neutrini au inundat Pământul, în urma unui neobișnuit cataclism nuclear cosmic.

Câteva ore mai târziu, la Las Campanas în Chile, Ian Shelton din Toronto observa Marele Nor Magelanic, cea mai apropiată galaxie de a noastră, și a remarcat un nou punct de lumină strălucitor. Era primul asemenea eveniment vizibil cu ochiul liber după descoperirea lui Kepler. Denumit sobru Supernova 1987A, acesta a atins strălucirea maximă la 80 de zile după ce a fost descoperit și s-a stins apoi în anii ce au urmat.

Astronomii au avut parte de evenimentul vieții lor. Ei studiau în mod curent supernove din galaxii depărtate, dar Supernova 1987A era prima aflată relativ aproape și care putea fi examinată cu telescoapele moderne de care dispuneau.

Satelitul multinațional Infrared Ultraviolet Explorer a fost cel mai rapid în detectarea exactă a stelei care a explodat. Steaua Sanduleak -69° 202 era cam de 20 de ori mai masivă decât Soarele. Contrar așteptărilor, nu era o stea roșie ci o supergigantă albastră. Detectarea unui strat de gaz, emanat din steaua precursoare cu 20 000 de ani mai devreme, explica recenta schimbare de culoare din roșu în albastru.

Telescoapele din spațiu și de la sol au înregistrat prezența diferitelor elemente chimice produse recent de steaua al cărei timp de viață se apropia de sfârșit. Dar cel mai evident era un nor de praf expulzat de explozie. Chiar fără să-l analizeze, astronomii știau că este nevoie de elemente mai grele decât hidrogenul și heliul pentru ca praful să se formeze.

Evenimentul a fost urmărit de telescopul spațial Hubble imediat după lansarea sa din 1990 și, pe măsură ce anii au trecut, acesta a observat creșterea norului de praf. El se va transforma într-un rest de supernovă, ca acelea descoperite de astronomi în galaxia noastră în locurile supernovelor din 1054, 1572 și 1604.

Într-o interpretare modernă, stelele lui Tycho și Kepler ar fi fost supernove de tipul Ia. Aceasta înseamnă o stea pitică albă mică și densă, „cadavrul” unei stele normale moarte, care captează gaz dintr-o stea alăturată până când devine suficient de fierbinte pentru „a arde” atomii de carbon într-o explozie nucleară extraordinară, producând nichel radioactiv care se dezintegrează rapid în fier stabil. Cu siguranță, evenimentul din 1987, probabil, și cel din 1054 au fost supernove de tipul II, adică stele masive care au făcut implozie la sfârșitul vieții lor, declanșând explozii comparabile în strălucire, dar mai variabile și mai complicate.

● Unde ne sunt supernovele?

Nebuloasa Crab din constelația Taurului este exemplul clasic de resturi de supernovă care umplu galaxia. Rezultată în anul 1054 în urma exploziei stelei „oaspete” a chinezilor, ea prezintă filamente de materie fierbinte, bogate în elemente nou create, care încă se îndepărtează cu viteză de scena exploziei stelare și interacționează cu gazul interstelar. În centrul său se află o stea neutronică, un corp ceresc mic dar extrem de dens care emite radiații de 30 de ori pe secundă, pe toate lungimile de undă, de la undele radio la cele gama.

Astronomii estimează că supernovele de un tip sau altul ar trebui să apară o dată la 50 de ani în galaxia noastră. În afară de evenimentele din 1054, 1572 și 1604, istoricii astronomiei, care au cercetat toată literatura lumii, au descoperit doar două noi apariții ale supernovelor în ultimul mileniu. Una, extraordinar de strălucitoare, în constelația Lupul în 1006 și alta, mai puțin spectaculoasă, în Casiopeea, în 1181. Despre majoritatea evenimentelor așteptate nu există relatări.

Norii de praf, ca aceia pe care îi vedem ca insule întunecoase pe fluviul strălucitor al Căii Lactee, ascund regiuni vaste din galaxie. Mai întâi radiotelescoapele,

apoi telescoapele spațiale cu raze X, cu raze gama sau în infraroșu au dezvăluit multe resturi de supernove ascunse în spatele norilor, așa că evenimentele care le-au produs nu au putut fi observate de pe Pământ în lumina din spectrul vizibil. Cel mai recent astfel de eveniment a avut loc în jurul anului 1680 în constelația Casiopeea și a fost identificat inițial ca o sursă extraordinar de puternică de unde radio.

Observatorul Compton cu raze gama al NASA, lansat în 1991, avea la bord un instrument german care a identificat toate locurile unde existau dovezi ale producerii de elemente chimice și le-a plasat pe o hartă a cerului. Pentru acest scop, astronomii germani au ales radiația gama emisă de aluminiul-26, un element radioactiv cu timpul de înjumătățire de circa un milion de ani. Așadar, harta cerului preciza locurile unde s-au produs elemente chimice în ultimele câteva milioane de ani.

Cele mai mari concentrări sunt de-a lungul Căii Lactee, mai ales înspre centrul galaxiei, unde se aglomerează stelele. Dar chiar și după milioane de ani, elementele nou create au rămas în apropierea locurilor de origine, prezentându-se în structuri destul de compacte. „Ne așteptam la o imagine mult mai uniformă”, a spus Volker Schönfelder de la Institutul Max Planck pentru Fizică Extraterestră. „Punctele strălucitoare au fost o mare surpriză.”

La același institut din Garching, astronomii au examinat în detaliu resturile de supernove, cu ajutorul satelitului germano-americo-anglez Rosat cu raze X, (1990–1999). Bernd Aschenbach a studiat, în 1996, imaginile constelației Vela obținute de Rosat, unde resturile unei supernove mari și strălucitoare se întind pe o suprafață de cer de 20 de ori mai mare decât cea a Lunii. Aceasta datează de la o explozie stelară recentă, ce a avut loc cu 11 000 de ani în urmă, și este încă o puternică sursă de raze X.

Aschenbach s-a întrebat cum ar arăta nebuloasa din Vela dacă ar fi privită numai cu radiațiile cele mai energetice. A fost uimit să descopere încă un rest de supernovă, ascuns în lumina înconjurătoare. A constatat imediat că aceasta este mult mai aproape și mai tânără decât cealaltă sursă de radiații din constelația Vela.

Folosind satelitul Compton, colegii săi au înregistrat emisiile de raze gama din obiectul lui Aschenbach, datorate izotopului radioactiv titan-44 creat în explozia stelară. Timpul lui de înjumătățire este de 90 de ani, ceea ce confirmă faptul că acest obiect este tânăr. Estimat că datează din jurul anului 1300 d.Hr. și că se află la o distanță de numai 650 de ani-lumină, obiectul reprezintă supernova cea mai apropiată de Pământ din ultimul mileniu – mai exact, din ultimii 10 000 de ani. Chiar dacă a văzut-o cineva, nu există nicio însemnare care să se fi păstrat.

„Această supernovă relativ apropiată de noi ar fi trebuit să apară mai strălucitoare decât Luna plină, cu condiția să nu fi fost mai puțin luminoasă decât de obicei sau să nu fi fost ascunsă de praful interstelar”, a afirmat Aschenbach. „Razele X, razele gama și cele infraroșii pot trece prin praf, deci avem o mulțime de

probleme nerezolvate referitoare la supernovele recente din galaxia noastră, pe care le vom putea soluționa numai cu ajutorul telescoapelor spațiale.”

Lansarea în 2002 a satelitului european cu raze gama Integral a însemnat un important pas înainte. Se spera că acesta va reuși să compare abundențele relative ale mai multor tipuri de nuclee radioactive recent create și că le va măsura mișcările pe măsură ce norul se mărește. Aceasta va pune la grea încercare teoriile actuale despre modalitățile în care supernovele și alte stele produc elementele chimice.

● Perioada de glorie a formării elementelor chimice

La începutul secolului al 21-lea, marea prioritate a astronomilor este să urmărească istoria elementelor chimice în Calea Lactee și în întregul Univers. Ritmul producerii de noi elemente, fie în galaxia noastră sau în altele mai depărtate, este mult mai scăzut decât altădată. Excepțiile confirmă regula. O supraabundență de elemente noi se întâlnește în anumite galaxii care sunt ascunse vederii noastre de nori de praf foarte denși.

În așa-numitele galaxii hiperactive, observate cel mai bine în infraroșu pe fondul prafului rece, ratele de apariție și de dispariție a stelelor pot fi de o sută de ori mai mari decât în Calea Lactee de astăzi. Coliziunile dintre galaxii par să provoace această frenzie a formării stelelor. În orice caz, exploziile stelare erau mai frecvente cu mult timp în urmă, pe când galaxiile se formau într-un univers mai mic și mai aglomerat. Deoarece luminii sau altor radiații le trebuie mult timp să străbată distanțele astronomice dintre sursele foarte îndepărtate și Pământ, astronomii au posibilitatea, folosindu-se de un echipament adecvat, să vadă aceste surse așa cum erau ele în tinerețea lor.

Cea mai mare parte dintre elementele chimice existente pe Pământ a rezultat în urma activității explozive de formare a stelelor din galaxia noastră, ce a avut loc în urmă cu 10 miliarde de ani sau mai mult. Perioada de vârf a formării elementelor pare să fi fost universală. Pentru a confirma, perfecționa sau revizui această istorie a elementelor chimice, vor fi necesare toate noile telescoape performante ale secolului al 21-lea, spațiale sau aflate la sol, ce utilizează toate tipurile de radiație, de la undele radio la razele gama, pentru studierea cosmosului.

Pe măsură ce vor fi utilizate noile instrumente, mai puternice, cu siguranță vor apărea și surprizele de genul celei manifestate cu anticipație în 2002. Atunci, un satelit european cu raze X, XMM-Newton, a studiat un quasar foarte îndepărtat, a cărui imagine obținută acum datează de pe când vârsta Universului era de o zecime din cea actuală. El a detectat în apropierea quasarului de trei ori mai mult fier decât în Calea Lactee de astăzi.

Istoria elementelor chimice își pune mari speranțe în două observatoare spațiale în infraroșu. Sonda spațială Herschel a Agenției Spațiale Europene (ESA) este programată să se plaseze, în 2007, la 1 500 000 de kilometri distanță, pe partea umbră a Pământului. Pe această sondă va fi trimis, în 2010, telescopul spațial

James Webb, succesorul telescopului spațial Hubble, rezultat din colaborarea dintre NASA, Europa și Canada.

După o viață dedicată studiului evoluției chimice a stelelor și a galaxiilor, petrecută la Observatorul Regal Greenwich și la Institutul Niels Bohr din Danemarca, Bernard Pagel nu ar putea preciza care dintre aceste sonde spațiale ar avea mai multe de spus despre istoria timpurie a formării elementelor.

„Se vor dovedi undele infraroșii lungi, pe frecvența cărora este acordat Herschel, mai revelatoare decât undele infraroșii scurte ale telescopului James Webb?“, se întreba Pagel. „Totul depinde de succesiunea și de ritmul evenimentelor care au dus la crearea primelor elemente, evenimente care sunt încă necunoscute pentru noi. Poate cea mai sigură predicție este că nicio misiune nu va rezolva toate misterele evoluției componentei chimice a cosmosului, ceea ce va da de lucru astronomilor cel puțin până în anii 2040, la centenarul ipotezei lui Hoyle despre supernove.”

- *Alte subiecte înrudite sunt STELELE, EXPLOZIILE STELARE, GALAXIILE, STELELE NEUTRONICE, GĂURILE NEGRE și EXPLOZIILE DE RAZE GAMA. Pentru informații despre utilizarea ingenioasă a supernovelor în cosmologie, vezi ENERGIA NEAGRĂ. Pentru informații despre începuturile chimiei în cosmos, vezi MOLECULE ÎN SPAȚIU și MINERALE ÎN SPAȚIU.*



Când o mare caldă agită vremea globală

ÎN 1971, PERU era pe primul loc între națiunile de pescari, deținând o flotă de 1 500 de vase de pescuit ce transporta a cincea parte din întreaga captură comercială de pește oceanic a lumii, constând în principal în peștii anșoa folosiți pentru hrana animalelor. Experții internaționali i-au sfătuit pe peruani să facă pregătiri pentru o producție de opt sau de zece milioane de tone pe an, având în vedere unul dintre marile miracole ale dezvoltării economice a lumii. Se pare că experții nu aveau idee ce putea face El Niño.

În ianuarie 1972 marea din dreptul statului Peru s-a încălzit. Obișnuita apariție la suprafață a apei reci, bogate în îngrășăminte, pe coasta continentului, a încetat.

Efectul combinat al pescuitului supraabundent și al acestei schimbări climatice bruște a distrus marea pescărie peruană, care a fost temporar închisă, în mod oficial, în aprilie 1973. Recolta peruană de anșoa a revenit abia după două decenii pe locul întâi, pentru ca apoi să fie din nou detronată de un eveniment asemănător, în anii 1997–1998.

Bătrânii *pescadores* care contemplau bărcile ancorate în Calloa, Chimbote și în alte porturi pescărești nu păreau deloc surprinși de un asemenea eveniment, care apărea o dată la câțiva ani. Îl numeau El Niño, Pruncul (cu referire la pruncul Iisus Hristos), deoarece începea de obicei în preajma Crăciunului. Înainte de dezastrul din 1972, alte apariții ale lui El Niño cu efecte deosebit de grave, ce au redus capturile de pește, au avut loc în anii 1941, 1926, 1914 ... și așa mai departe, din câte își mai aminteau bătrânii.

Un faimos meteorolog norvegian, Jacob Bjerknes, semi-pensionat de la UC Los Angeles, a devenit interesat de acest fenomen în anii 1960. El a definit imaginea modernă a lui El Niño ca fiind un eveniment cu conexiuni îndepărtate, asociindu-l cu Oscilația Sudică descoperită de Gilbert Walker în timp ce lucra în India, în anii 1920. Drept urmare, meteorologii, oceanografii și climatologii se referă adesea la acest fenomen sub denumirea de El Niño / Oscilația Sudică, sau ENSO (El Niño / Southern Oscillation) pe scurt.

Walker a observat că intensitatea mai mare sau mai redusă a ploilor musonice din India și din alte părți ale Asiei și Africii depinde de condițiile presiunii atmosferice de deasupra Oceanului Pacific tropical. Concluzia sa se baza pe observații făcute în Tahiti și în Darwin, Australia. În condiții normale, presiunea este înaltă în est și joasă în vest, în conformitate cu direcția alizeelor. Dar în unii ani, sistemul balansează în direcția opusă, cu presiune joasă în est. Atunci musonul tinde să fie slab, aducând cu el riscul foametei pentru cei ce depind de ploile lui. Bjerknes și-a dat seama că anii în care Walker remarcase inversarea valorilor presiunilor între est și vest erau, de asemenea, anii în care apărea El Niño în largul coastei vestice a Americii de Sud.

De obicei alizeele împing apa oceanului departe de țărm, permițând apei reci, fertile, să iasă la suprafață. Această apă nutritivă nu numai că hrănește peștii anșoa peruani, dar generează și o limbă de apă rece purtată de curenți, care se întinde de-a lungul Pacificului, urmând un sfert din linia ecuatorului în jurul lumii. Presiunea curenților face ca nivelul mării să fie cu o jumătate de metru mai înalt în largul Indoneziei decât în largul Americii de Sud, iar diferența de temperatură a apei pe cele două părți ale oceanului este de 8°C.

În anii lui El Niño, alizeele au o intensitate mai mică și apa ce se revărsă spre est dinspre partea caldă a Pacificului acoperă apa rece, hrănitoare. În zilele noastre, sateliții ce măsoară temperaturile de la suprafața mării arată un El Niño impresionant, care face ca ecuatorul să apară roșu-aprins în imaginile codificate în culori. Evenimentele au loc la intervale de doi până la șapte ani și persistă un an sau doi.

Pe lângă efectele asupra vieții marine, consecințele lui El Niño includ inundații în America de Sud, precum și secetă și incendii în Indonezia și în Australia.

Modificarea tiparelor climatice este și mai considerabilă, după cum a prevestit corelația realizată de Walker între Oscilația Sudică și musonul din India. Înainte de sfârșitul secolului, publicul larg a aflat că El Niño era vinovat de toate tipurile de vreme neobișnuită, de la secetele din Africa până la revărsările fluviului Mississippi. Iar ziarele au prezentat-o pe sora lui mai mică, La Niña, referindu-se la condițiile în care Pacificul de Est este mai rece decât de obicei și urmările sunt contrare celor provocate de El Niño. La Niña este asociată cu o creștere a frecvenței și a puterii uraganelor din Atlantic, în timp ce El Niño moderează aceste furtuni.

Un fenomen El Niño major modifică traiectoriile curenților-jet (jet stream) din troposferă în așa fel încât ridică temporar temperatura medie la suprafața Pământului și în atmosfera inferioară cu aproximativ o jumătate de grad Celsius. Această cifră este semnificativă deoarece este aproape la fel de mare ca efectul încălzirii globale a vremii pe durata secolului al 20-lea. Uneori, o răcire simultană datorată unui vulcan sau activității solare slabe maschează efectul. Schimbarea bruscă de temperatură a fost evidentă în anii 1997–1998.

Între experți au apărut controverse privitoare la relația dintre El Niño și încălzirea globală. Frecvența mărită a aparițiilor lui El Niño, din 1970 până în zilele noastre, mai ales în anii 1990, a adus o contribuție importantă la creșterea temperaturilor globale spre sfârșitul secolului, când acestea s-au stabilizat. Prin urmare, aceia care puneau creșterea temperaturii globale pe seama emanațiilor de dioxid de carbon provocate de activitățile umane și a altor gaze de seră voiau să spună că aceste evenimente El Niño erau un simptom mai degrabă decât o cauză a creșterii temperaturilor.

„Trebuie să ne întrebăm de ce se schimbă El Niño astfel?”, a spus Kevin Trenberth de la Centrul Național al SUA pentru Cercetare Atmosferică (US National Center for Atmospheric Research). „Un efect de seră direct ar schimba temperaturile pe plan local, dar ar modifica și circulația atmosferică.” William Nierenberg, fost director al Institutului Scripps de Oceanografie din San Diego, a replicat că pentru a explica fenomenul El Niño pe seama încălzirii globale, ar trebui să se demonstreze că aceasta a oprit alizeele. „Și nu există nicio dovadă pentru asta”, a mai spus el.

● Ce au de spus corali despre toate acestea

Datele referitoare la anii în care s-au manifestat El Niño și Oscilația Sudică, incluzând și cea de-a doua jumătate a secolului al 19-lea, pe când temperatura globală era mai scăzută ca astăzi, nu arată nicio legătură evidentă între temperatura globală dominantă și frecvența și gravitatea schimbărilor climatice. Oamenii de știință au căutat și alte indicii, pentru a vedea ce s-a petrecut și mai demult, pe

scara timpului. Schimbările climatice din oceanele tropicale sunt foarte bine înregistrate de corali cu creștere rapidă. Se pot număra anii după benzile de creștere sezonieră, în scheletele moarte care alcătuiesc un recif, și tot acolo putem găsi dovezi despre sutele de ani de fluctuații ale temperaturii, ale salinității și ale radiațiilor solare.

Noua Caledonie are mari cantități de corali, fiind întrecută doar de Marea Barieră de Corali din apropierea Australiei. Făcând foraje într-o colonie de corali veche de 350 de ani, situată mai jos de farul Amédée în partea de sud-est a insulei, oamenii de știință au ajuns să înțeleagă istoria fenomenului El Niño. Acolo în zona Noii Caledonii, în Pacificul de vest, aproape de Tropicul Capricornului, apa oceanului se răcește de obicei cu 1°C în timpul lui El Niño. Variațiile temperaturii sunt înregistrate în fluctuațiile din proporțiile de stronțiu și de uraniu absorbite din apa mării pe când corali erau vii.

O echipă condusă de Thierry Corrège de la Institutul Francez de Cercetare pentru Dezvoltare (Institut de Recherche pour le Développement) a reconstituit temperaturile mării pentru fiecare lună, pe perioada anilor 1701–1761. Aceasta cuprindea unii dintre cei mai reci ani din Mica Eră Glaciară, care a durat din 1400 până în 1850, cu un apogeu al frigului în jurul anului 1700. Pacificul de Vest, în preajma Noii Caledonii, era per ansamblu cam cu 1°C mai rece decât acum, și totuși comportamentul lui El Niño de atunci era foarte apropiat de cel de astăzi.

„În pofida unei scăderi a temperaturilor medii”, spunea Corrège, „nici forța, nici frecvența lui El Niño nu par să fi fost afectate, nici chiar în cea mai friguroasă perioadă.” Aceste date au demontat orice corelație care s-ar fi putut face între El Niño și încălzirea globală. Dar echipa a observat totodată că El Niño a avut intensități maxime în anii 1720, 1730 și 1748, și s-a întrebat dacă nu cumva un alt ciclu climatic era în desfășurare.

Ținând cont de impactul colosal asupra vremii globale, precum și de inundațiile și secetele dezastruoase pe care variațiile din Pacific le provoacă, e firesc să sperăm ca specialiștii climatologi să fi dobândit până acum o oarecare înțelegere a acestor fenomene. Ei au la dispoziție calculatoare performante, sateliți și o rețea de balize extinsă de-a lungul Pacificului, datorită unei cooperări americano-franco-japoneze, cu ajutorul căroră se încearcă prognosticarea momentului de început, a intensității și a duratei lui El Niño. Cu toate acestea, până acum rezultatele sunt dezamăgitoare.

În 2000, Christopher Landsea și John Knaff de la Administrația Oceanică și Atmosferică Națională din SUA (US National Oceanic and Atmospheric Administration) au evaluat afirmațiile conform cărora El Niño din anii 1997–1998 a fost corect prezis. Ei au dat calificative slabe tuturor previziunilor, inclusiv acelor care proveneau de la cele mai sofisticate modele realizate pe computer. Landsea a spus: „Dacă privești evenimentul în ansamblu, realizezi că predicțiile nu se dovedesc prea competente.”

Din păcate, oamenii de știință încă nu știu ce anume provoacă fenomenul El Niño. În anii 1960, Bjerknes, cercetătorul-pionier al lui El Niño, credea că acest fenomen se autogenera prin compensarea feedbackurilor în cadrul sistemului meteorologic format din aer și apa mării, astfel încât El Niño era o reacție întârziată la La Niña și invers. Posibilitatea existenței unui astfel de balansoar natural indică o dificultate în distingerea cauzei și a efectului.

S-au făcut mari eforturi pentru a studia apa oceanului, curenții săi și fluctuațiile nivelurilor sale, atât prin cercetările satelitare și marine, cât și prin modelare pe calculator. O descoperire promițătoare a fost aceea a unor protuberanțe care se propagau prin ocean numite undele Kelvin, datorate unor mase imense de apă fierbinte ce se deplasau de la vest la est, pe sub suprafață. Undele pot fi formate în vestul Pacificului de scurte rafale de vânt puternic bătând dinspre vest – de un taifun, de exemplu.

Deși înaltă suprafața apei cu doar 5–10 centimetri, și le sunt necesare trei luni pentru a traversa oceanul, undele Kelvin oferă un mecanism de transportare a apei calde înspre est dintr-un bazin permanent cald de lângă Noua Guinee, și de reprimare a ieșirii la suprafață a apei reci. Echipa americano-franceză care administra satelitul Topex-Poseidon în anii 1990 a dobândit experiență în a detecta undelele Kelvin folosind un radar cu altimetru care măsura înălțimea suprafeței mării. Dar ele apăreau cel puțin o dată pe an și cu siguranță nu erau urmate întotdeauna de un eveniment El Niño semnificativ.

La sfârșitul secolului, modelul teoretic preferat pentru El Niño era modelul oscilatorului întârziat. Acesta era asemănător balansoarului natural al lui Bjerknes, cu o caracteristică specială, bazată pe observații făcute în mare, și anume că stratul de apă caldă de la suprafață devine mai subțire în vestul Pacificului, pe măsură ce crește în grosime lângă America de Sud, la începutul lui El Niño. O subțiere a părții de est începe chiar înainte ca încălzirea oceanului să atingă punctul maxim.

Afirmația că El Niño este asociat cu o scădere în intensitate a alizeelor ne face să ne întrebăm de ce sunt acestea mai puțin intense. Se autogenerază într-adevăr datorită feedbackului în sistemul aer-apă? Sau alizeele răspund la răcirea datorată altor cauze, cum ar fi erupțiile vulcanice sau scăderea intensității radiațiilor solare? Marele El Niño din 1983 a urmat atât de curând după marea erupție vulcanică a lui El Chichón din Mexic, în 1982, încât fiecare dintre cele două evenimente a avut tendința să mascheze efectul global al celuilalt. La urma urmelor, poate că El Niño este un termostat planetar destul de rudimentar.

- Pentru subiecte corelate, vezi **CURENȚII OCEANICI** și **SCHIMBĂRILE CLIMATICE**. Pentru a afla cum folosesc navigatorii polinezieni fenomenul El Niño, vezi **GENELE PREISTORICE**.



EMBRIONII

„Imaginați-vă genele de control ca fiind operatorul unui computer chimic”

U NA DINTRE CELE MAI DIFICILE MUNCI ale lui Hercule a fost uciderea Hidrei. Hidra era un monstru uriaș cu mai multe capete, care sălășluia într-o mlaștină de lângă Argos. Dacă îi tăiai unul dintre capete, îi creșteau două în loc. Hidrele din viața reală au dimensiuni de ordinul milimetrilor, dar și aceste animale trăiesc tot în apă dulce și au capete tentaculare. Când se înmulțesc prin înmugurire, pe perioada verii, progeniturile lor seamănă cu niște capete adiționale. Iar puterea de regenerare a hidrelor o întrece pe cea a tizei lor mitice.

În frumosul oraș vechi Tübingen, la începutul anilor 1970, Alfred Gierer de la Institutul Max Planck pentru Cercetarea Virusurilor a tăiat mărunț mai multe hidre. Hidrele au fost trecute prin tuburi mult mai mici decât dimensiunea lor, reducându-le astfel la celule vii individuale. Când a modelat amestecul rezultat în forma unui mic baton, acesta s-a reorganizat singur formând noi hidre.

Celulele au reacționat în funcție de pozițiile în care se aflau, alcătuind suprafața exterioară fină sau peretele cavității gastrale, după cum era necesar. În câteva zile au apărut muguri cu tentacule, iar creatura diformă a început să se hrănească normal. După șase săptămâni câțiva muguri s-au separat de creatura nou formată, dezvoltându-se ca progenituri normale.

Dacă Gierer ar fi aranjat celulele mai atent, ținând cont de partea din corpul inițial căreia îi aparținuseră, ar fi putut obține o hidră cu câte un cap la ambele extremități, sau o hidră cu două picioare și un cap la mijloc. Celulele care fuseseră situate cel mai aproape de cap în hidra inițială dețineau controlul. Ele formau întotdeauna noul cap al animalului regenerat.

Acesta a fost doar unul dintre miile de experimente de biologia dezvoltării realizate în toată lumea în secolul al 20-lea, în care oamenii de știință s-au confruntat cu ceea ce părea a fi misterul fundamental al formelor de viață avansate. Cum se dezvoltă un ou fertilizat – care în cazul oamenilor este doar cât a zecea parte dintr-un milimetru – într-un embrion? Cum poate rezulta în final o creatură minunat alcătuită, cu fiecare părticică la locul potrivit?

Lewis Thomas de la Centrul Sloane-Kettering din New York, un „înger păzitor al biologiei”, după cum s-a autointitulat, considera că ovulul uman fertilizat ar

trebui privit ca una dintre cele mai mari minuni ale lumii. Oamenii ar trebui să vorbească despre el cu profundă uimire, spunea el. Și a promis că dacă cineva va putea să explice procesul de activare a genelor care determină formarea creierului uman, „voi închiria un avion pentru reclamă aeriană, poate un întreg parc de avioane, și le voi trimite să străbată cerul, scriind semne mari de exclamare, unul după altul, cheltuindu-mi astfel toți banii.”

Celule care sunt identice în stadiile cele mai timpurii ale dezvoltării se specializează într-un anumit mod în celule ale creierului, oaselor, mușchilor, ficatului sau în orice alt tip din cele mai mult de 300 de tipuri prezente într-un organism mamifer ca al nostru. În cazul tulburărilor genetice, precum și în cazul cancerului, controlul genelor poate urma o cale greșită. În cazurile normale, în fiecare celulă genele potrivite sunt „activate”, iar cele nepotrivite sunt „dezactivate”, astfel încât aceasta își va juca propriul rol. Celula specializată seamănă cu un actor ce își spune doar propriile replici, și aceasta doar atunci când primește replica.

Cunoașterea întregului scenariu al piesei – în ce mod se dezvoltă întregul organism – rămâne latentă în genele multor celule. Clonarea, care a fost realizată la plantele altoite încă din timpuri preistorice și la mamifere începând din 1997, exploatează această vastă memorie genetică. La începutul secolului al 21-lea, embriologia intrase deja pe scena politică prin preocuparea pentru clonarea umană și propunerea de a folosi celulele stem din embrionii umani pentru a produce diferite tipuri de țesut.

La nivelul științei fundamentale, încă nu a sosit timpul să scriem semnele de exclamație ale lui Thomas pe cer. Specialiștii știu destul de multe despre mesajele care transmit fiecărei celule ce are de făcut. Însă procesul dezvoltării embrionare este extrem de complex, iar încercarea de a-l explica luând-o pe scurtături s-ar putea să fie la fel de inutilă ca și a rezuma *Hamlet*.

● Capete și cozi la drosofilele mutante

Regenerarea observată la animalele simple oferea o cale de acces către misterul dezvoltării embrionare. Deosebirea cap-picior pe care o realizează celulele hidrelor tăiate este esențială în formarea corpului oricărui animal. La oameni, aceasta devine vizibilă la o săptămână de la concepție.

În cazul experimentului de la Tübingen, Alfred Gierer a presupus că semnalul chimic ce provine din celulele capului hidrei diminuează gradat în celulele mai îndepărtate, de-a lungul unui gradient chimic. După puterea semnalului local, fiecare celulă poate ști exact unde s-a aflat înainte și poate astfel să deducă ce rol ar trebui să joace în noua poziție din amestecul de hidre tăiate. La începutul secolului al 20-lea, Theodor Boveri de la Universitatea din Würzburg, cel care a stabilit că toți cromozomii din nucleul celulelor sunt necesari pentru dezvoltarea normală a embrionului, a susținut ideea gradientului. Din experimentele sale cu

embrioni de arici de mare, Boveri a concluzionat că „ceva” crește sau descrește în concentrație de la un capăt la celălalt al oului.

Christiane Nüsslein-Volhard a studiat biochimia, și ulterior genetica, la Universitatea Tübingen. Ea a urmat cursurile de dezvoltare embrionară și de specializarea celulelor ținute de Gierer și de alții. Problema modului în care acționează instrucțiunile ereditare pentru a realiza autoorganizarea, fiind transportate de gene în celulele embrionului, a început să o fascineze. Făcând inventarul, a aflat că cel mai mult se știa despre un animal mult mai complex decât hidra, musculița de oțet *Drosophila*.

Biologii experimentalisti au preferat multă vreme musculița de oțet, pentru că se dezvoltă de la ou la musculiță în nouă zile și pentru că genele ei sunt grupate în patru cromozomi surprinzător de mari. Într-adevăr, în anii 1920, Thomas Hunt Morgan de la Caltech a confirmat că genele sunt localizate în cromozomi, după ce a studiat mutațiile genetice la musculița de oțet drosofilă. Multe din primele studii ale mutațiilor unor gene specifice cauzate de substanțele chimice și de radiații au avut ca subiect musculița de oțet.

Din anii 1940, o mutație genetică neobișnuită, care determina apariția la musculița de oțet a două perechi de aripi în loc de una, a fost subiectul unui studiu de specialitate realizat de Edward Lewis, tot de la Caltech. În urma unei activități individuale de cercetare care a durat peste trei decenii, Lewis a descoperit un set de gene responsabil cu organizarea diferitelor segmente situate de-a lungul corpului drosofilei. Aceste segmente sunt specializate pentru a da naștere capului, aripilor, picioarelor și așa mai departe.

Genele care controlează segmentele sunt dispuse liniar într-un cromozom, de la cele care influențează formarea capului, până la cele care influențează formarea cozii. Două segmente adiacente au tendința de a forma fiecare câte o pereche de aripi, dar în unul din ele aripile sunt în mod normal reprimite de acțiunea unei anumite gene de control. Dacă acea genă nu va putea să acționeze din cauza unei mutații, rezultatul va fi o musculiță cu patru aripi.

Nu este de mirare deci că Nüsslein-Volhard a ales să experimenteze pe drosofile, la Centrul de Biologie din Basel. „Încă de la început mi-a plăcut să lucrez cu musculițele”, își amintea ea ulterior. „M-au fascinat și m-au urmat peste tot în visele mele.”

Ea intenționa să studieze dezvoltarea lor embrionară la un stadiu chiar mai timpuriu decât cel studiat de Lewis, și anume la stadiul în care larvele abia începeau să schițeze și să evidențieze planul de bază al corpurilor lor, cu diviziunea acestora în segmente. Prilejul pentru aceste studii s-a ivit în anul 1978, când Nüsslein-Volhard s-a angajat la noul Laborator European de Biologie Moleculară din Heidelberg și a făcut echipă cu un alt tânăr om de știință, Eric Weischaus.

Specialiștii în genetica dezvoltării descoperă genele modificând cursul firesc și urmărind ce se petrece. Cu alte cuvinte, ei provoacă mutații și studiază consecin-

tele. Nüsslein-Volhard și Weischaus au început să facă acest lucru la un cu totul alt nivel, într-un proiect care implica multă dăruire și putere de muncă. Ei au administrat drosofilelor-mame substanțe chimice în doze atât de mari încât aproape jumătate dintre genele acestora au fost modificate. Apoi, asemenea interpreților unui duet la pian, ei au folosit un microscop dublu, examinând împreună larvele care au rezultat – aproape 40 000 de mutații.

La unii embrioni lipseau segmente ale corpului. La alții, un segment era orientat greșit, nereușind să facă diferența dintre cap și coadă. După mai mult de un an de muncă intensivă, Nüsslein-Volhard și Weischaus au identificat 15 gene care controlează împreună diferitele faze ale dezvoltării timpurii a larvelor.

Aceste gene acționează în trei trepte. Genele „gap” (lacună) schițează planul corpului pe segmente de-a lungul axei cap-coadă. Genele pentru perechi (pair-rule) dublează numărul segmentelor. Apoi extremitatea cap și extremitatea coadă a fiecărui segment învață fiecare să se recunoască în funcție de diferențele dintre ele de la genele de control al polarității segmentului. Această serie de evenimente durează doar câteva ore.

Acest studiu, publicat în 1980, a fost considerat drept o lucrare de referință în domeniul cercetării embrionare. Câțiva ani mai târziu, Institutul Max Planck de Cercetare a Virusurilor din Tübingen și-a schimbat numele în Institutul Max Planck de Biologia Dezvoltării, iar Nüsslein-Volhard s-a mutat acolo ca director al propriei secții. Lucrând în continuare cu drosofilele, ea a confirmat ideea gradientului chimic enunțată de cei care studiaseră hidrele, într-un mod foarte spectaculos.

Într-una din părțile fiecărui ou, musculița mamă plasează o genă proprie care spune „acesta urmează să fie capul”. Gena comandă producerea unei proteine, a cărei concentrație descrește de-a lungul embrionului. Astfel ajută celulele să știe unde se află și deci ce să facă în diferitele segmente, până la mijlocul corpului. Mama furnizează, de asemenea, o genă care spune „aceasta este coada” și care este implicată în formarea abdomenului, în partea opusă a oului. La ora actuală se cunosc multe asemenea gene maternelor, dintre care unele determină diferențierea față – spate în embrionul musculiței de oțet, într-un set de gene ce marchează partea din față.

● Mai bine să recunoaștem cât de complicat este

Experimentatorii trebuiau să cerceteze în continuare dacă ceea ce descoperiseră la musculița de oțet era relevant în cazul animalelor vertebrate și, prin urmare, pentru tratarea sau prevenirea malformațiilor genetice la bebelușii umani. Optimismul lor era îndreptățit. De exemplu, repetarea oaselor în coloana vertebrală părea, în esență, asemănătoare cu repetarea segmentelor în cazul unui vierme sau al unei insecte.

În anii 1980, Walter Gehring de la universitatea din Basel a identificat o serie de aproximativ 180 de litere în codul genetic care apărea în mod repetat la genele

musculitei de oțet implicate în dezvoltarea embrionară. Secvențe foarte asemănătoare, numite gene homeobox, au fost evidențiate și la anelide (viermi inelați cu corpul format din segmente), la broaște, la șoareci și la oameni. În mod evident, regnul animal a păstrat unele mecanisme genetice de bază pentru construirea organismelor, timp de peste jumătate de miliard de ani de evoluție.

Cu alte cuvinte, puteau fi aflate multe date despre dezvoltarea embrionară studiind nu contează ce animal. Unii oameni de știință, printre care și Nüsslein-Volhard, doreau să se apropie de dezvoltarea embrionară la om, studiind în special peștele zebură, recomandat în 1982 de George Streisinger de la Oregon drept cea mai convenabilă replică vertebrată a musculitei de oțet. Peștele-zebră, *Danio rerio*, originar din râurile himalaiene, măsoară doar patru centimetri lungime, și are dungi negre ce traversează corpul său auriu. Atât ouăle cât și embrionii săi sunt transparent, astfel încât poți urmări dezvoltarea țesuturilor și a organelor viitorului pește.

Însă procesul dezvoltării este extrem de complicat și există cel puțin un motiv bine întemeiat pentru a examina animalele simple, acela de a afla principiile pe baza cărora un ou fertilizat se transformă într-o creatură complet funcțională. Prima prezentare completă a autobiografiei fiecărei celule din corpul unui animal a fost făcută pentru un vierme cilindric transparent, aproape invizibil. Numele lui, *Caenorhabditis elegans*, este mult mai lung decât corpul lui de un milimetru.

Sydney Brenner a început ambițiosul proiect al biografiilor celulelor la mijlocul anilor 1960, la Laboratorul de Biologie Moleculară de la Cambridge. Mai târziu, alte laboratoare din lume i s-au alăturat cu entuziasm. Femelele adulte ale viermelui cilindric au corpul alcătuit din exact 1031 celule, iar masculii din 959. Dezvoltarea embrionară urmează același curs în cazul oricărui animal, exceptând cazul când cercetătorii o perturbă în mod voit. Unele evenimente par ilogice și surprinzătoare.

Deși majoritatea celulelor cu o anumită funcție (celule musculare, nervoase etc.) iau naștere ca și clone ale anumitor celule precursoare din embrionul de vierme nematod, există multe cazuri în care două tipuri diferite de celule provin dintr-un strămoș comun. Aproximativ 12% din totalul celulelor produse în embrion se sinucid pur și simplu, deoarece sunt excedentare față de cerințele adultului. Cel mai surprinzător este faptul că simetria stânga – dreapta caracteristică multor animale nu este, în acest caz, doar o duplicare în oglindă a liniilor celulare din cele două părți ale corpului viermelui nematod. În unele zone, părțile stângă și dreaptă, asemănătoare ca aspect, sunt alcătuite din tipuri diferite de celule, fiecare cu o biografie diferită.

Pentru succesorii lui Thomas Hunt Morgan și Edward Lewis de la Caltech, embrionii mult mai complecși ai aricilor de mare erau subiectul unui alt program pe 30 de ani. Cu 100 de ani înainte, Boveri fusese inițiatorul embriologiei aricilor de mare, și folosisse specia europeană *Strongylocentrotus lividus*. Californienii au

studiat specia *S. purpuratus*, din apele lor de coastă. Roy Britten, fizician de formație, a stabilit obiectivele programului în anul 1973.

„Am ajuns la concluzia că genele tuturor creaturilor ar putea fi aproximativ identice”, a spus el. „Genele unei amibe ar fi aproape aceleași ca cele ale unei ființe umane, iar diferențele apar în genele de control. Puteți să vă imaginați genele de control ca fiind operatorul unui computer chimic. Activând și dezactivând genele care produc structuri vizibile, ele controlează forma.”

Colegul mai tânăr al lui Britten, Eric Davidson, a insistat pe legătura dintre embriologie și evoluție: „O mică schimbare în secvențele de ADN ce controlează activitatea multor gene ar putea determina modificări majore ale caracteristicilor organismului – de exemplu apariția aripilor la prima pasăre.”

Lui Davidson i-a revenit responsabilitatea continuării proiectului ariciului de mare până la sfârșitul secolului și după aceea. Folosind instrumentele din ce în ce mai ingenioase ale geneticii moleculare, el și echipa sa au descoperit rețele de gene ce interacționau cu alte gene. În 2001, el obținuse hărți complicate ce indicau zeci de gene de control acționând la diferite stadii timpurii ale dezvoltării ariciului de mare. Întocmai cum au prezis el și Britten încă de la început, acestea semănau cu diagramele unor circuite ale unui computer chimic.

Echipa lui Davidson a descoperit că putea întrerupe legăturile specifice de la o genă la alta a circuitului prin mutații. Pornind de la aceste detalii, un computer electronic de la Universitatea Hertfordshire din Anglia a construit diagramele genetice. Acestea indicau unde trebuiau căutate genele care erau ținta genelor de control ale ariciului de mare.

Unii biologi n-au luat în considerare diagramele pentru că erau prea complicate, însă alții le-au apreciat. Susținătorii lui Davidson l-au lăudat pentru că a evitat simplificările exagerate la care recurgeau de obicei specialiștii în biologia dezvoltării, pentru că nu aveau de ales. După cum a afirmat Noriyuki Satoh de la Kyoto, „Pentru a înțelege procesele dezvoltării și ale evoluției, trebuie să aflăm mai multe din detaliile rețelilor de gene.”

● Și acum, ceasul embrionului

În multe laboratoare, doctoranzii aleargă pe holuri cu ouăle proaspăt fertilizate pentru a le examina înainte ca acestea să se dezvolte prea mult. Această goană zilnică e valoroasă din perspectiva celor preocupați de viitorul studiului embrionilor și al dezvoltării lor. De la succesiunea de evenimente în cazul musculițelor de oțet ale lui Nüsslein-Volhard și până la diagramele genetice secvențiale pentru aricii de mare ai lui Davidson, timpul este un aspect esențial.

În 1998, la Universitatea Mediteraneană din Marsilia, Olivier Pourquié a descoperit un ceas biologic funcțional la embrionii puilor de găină. El l-a denumit ceasul segmentării deoarece controlează desfășurarea în timp a formării segmentelor

repetate de-a lungul embrionului, care vor da naștere vertebrelor. Faptul că genele se dovedesc a fi cu ochii pe ceas poate părea firesc pentru o femeie însărcinată, care poate nota cu anticipație în jurnalul ei când va naște. Totuși, natura ceasului biologic al embrionilor din stadiile timpurii nu era cunoscută anterior.

În embrionii puilor de găină studiați de Pourquié ceasul ticăie la fiecare 90 de minute, producând activitatea genetică în trepte. Dezvoltarea corectă necesită atât semnalul gradientului chimic care să stabilească unde se va forma fiecare parte specifică a corpului, cât și ceasul care să specifice momentul când să înceapă formarea. Odată cu această descoperire, studiul stadiilor timpurii ale dezvoltării a intrat într-o nouă etapă. Pourquié a afirmat că „acum trebuie să aflăm cu exactitate cum funcționează genele Naturii vii în cea de-a patra dimensiune, a timpului.”

- Pentru mai multe informații despre crearea și sinuciderea celulelor în timpul dezvoltării, vezi **CELULELE STEM** și **MOARTEA CELULEI**. Referitor la dezvoltarea creierului, vezi **CONEXIUNILE CEREBRALE**. Importanța evolutivă a modificărilor ce survin în timpul dezvoltării embrionare devine evidentă în capitolele **EVOLUȚIA** și **MONȘTRII OPTIMIȘTI**.

ENERGIA NEAGRĂ



Resursele energetice ale Universului în expansiune
accelerată

LA SILLA înseamnă „șaua” și este porecla dată de minerii localnici unui munte de 2 400 de metri având această formă, aflat la limita de sud a deșertului Atacama din Chile. Muntele a fost ales în 1964 ca spațiu pentru amplasarea Observatorului Sudic European (ESO – European Southern Observatory), o organizație internațională ce spera să atingă și eventual să depășească performanțele telescoapelor americane în astronomia cu lumină vizibilă.

Treptat, 18 telescoape mari și mici au ajuns să decoreze muchia șei cu formele lor de domuri, semănând cu un șir de igluuri. Ulterior, tot un munte din Chile avea să găzduiască un alt telescop al ESO, VLT (Very Large Telescope), având

patru oglinzi cu diametre de 8 metri, protejate de construcții paralelipipedice. Cerul senin al deșertului, absența prafului și îndepărtarea de așezările umane luminate noaptea au fost criteriile principale în alegerea munților La Silla și Paranal, și nu confortul astronomilor care urmau să folosească telescoapele.

Ca să ajungi la La Silla, aveai de făcut o călătorie anevoioasă. Trebuia să sosești la Santiago cu două zile înainte de a-ți începe munca acolo, după un zbor lung din Europa care părea și mai puțin confortabil, pentru că nimeni dintre colegi nu te încurajează la plecare.

„Este imposibil!”, li se spunea, în cor, astronomilor care au început, în 1986, cercetarea stelelor care explodau departe, în Univers. Cu toate acestea, o curajoasă echipă danezo-britanică s-a apucat de lucru, utilizând camera foto digitală de mare precizie cu cip CCD¹, care era pe atunci o premieră în domeniul astronomiei. Perseverența astronomilor a declanșat o adevărată revoluție care a modificat percepția umanității asupra cosmosului. Noile cuvinte la ordinea zilei aveau să fie, de acum încolo, „acelerație” și „energie neagră”.

Un membru al echipei călătorea la La Silla de șase ori pe an, pentru a studia cerul în ultimele trei zile ale ciclului lunar dinaintea fazei de Lună Nouă. El folosea un telescop danez de 1,5 metri cu performanțe modeste pentru a înregistra imagini provenind de la 65 de roiuri de galaxii îndepărtate, imense aglomerări de stele aflate la mare distanță de noi. Comparând, prin metoda diferențierii electronice, imaginile lor obținute la intervale de o lună, astronomii se așteptau să observe o stea care explodează, o supernovă, sub forma unei pete luminoase într-una sau lângă una dintre galaxii.

Ei au descoperit câteva astfel de cazuri, dar căutările lor erau orientate spre un anumit tip de supernovă, tipul Ia, o stea pitică albă care poate fi folosită pentru măsurarea distanței dintre galaxii. Deși sunt de miliarde de ori mai luminoase decât Soarele, privite de la distanțe mari supernovele de acest tip apar inevitabil ca fiind lipsite de strălucire și, în orice galaxie, intervalul dintre astfel de evenimente poate fi de secole. Nu e de mirare că mulți preconizau șanse mici de succes.

În 1988, perseverența echipei a fost răsplătită de apariția celei mai îndepărtate supernove de tip Ia observate până atunci. Supernova 1988U a apărut într-o galaxie din constelația Sculptor, la o distanță de aproximativ 4,5 miliarde de ani lumină. Aceasta înseamnă că evenimentul apariției ei a coincis, aproximativ, cu nașterea Soarelui și a Pământului, dar vestea ajungea abia acum în Chile, datorită distanței astronomice.

„În doi ani de muncă am identificat în mod clar doar o supernovă de tipul Ia”, își amintea mai târziu Hans Ulrik Nørgaard-Nielsen de la Institutul Danez de

¹ CCD (Charge-coupled device sau Color-capture device) este un senzor de imagine constând într-un mic circuit integrat fabricat din siliciu, ce funcționează pe baza efectului fotoelectric (n. red.).

Cercetări Spațiale din Copenhaga. „Dar am demonstrat că misiunea nu era atât de lipsită de speranță pe cât se prezisese, alții au aplicat și ei metoda noastră. Niciunul dintre noi nu și-a imaginat ce consecințe extraordinare va avea.”

● Nu încetinește, ci se accelerează

Stelele pitice albe care explodează sunt în mod special căutate de astronomi pentru a măsura, cu ajutorul lor, încetinirea procesului de expansiune a Universului. La sfârșitul anilor 1920, Edwin Hubble de la Observatorul Mount Wilson din California a lansat cosmologia experimentală modernă, o dată cu afirmația că galaxiile aflate la mare distanță par a se îndepărta accelerat de noi, judecând după creșterea lungimilor de undă ale radiațiilor emise, fenomen numit deplasare spre roșu. Cu cât galaxiile sunt mai îndepărtate, cu atât mai repede se deplasează. Întregul continuum spațiu-timp se dilată.

Viteza de expansiune a Universului, numită constanta Hubble, ar fi trebuit să fixeze scalele spațiului și timpului, însă valoarea ei creștea sau scădea ca la bursă, de la o măsurătoare la alta. Cu ajutorul telescopului spațial Hubble, astronomii au ajuns treptat la un consens în privința vitezei de expansiune a Universului în vecinătatea planetei noastre.

Nimeni însă nu se aștepta ca această așa-zisă constantă Hubble să rămână constantă de-a lungul istoriei Universului. Majoritatea teoriilor despre cosmos presupuneau că forța gravitațională a componentelor sale ar trebui să frâneze gradat expansiunea Universului. Altele afirmă că aceasta va atrage în cele din urmă toate galaxiile laolaltă, într-un colaps universal pe care l-au numit Big Crunch².

Supernovele îndepărtate de tipul Ia ar putea confirma încetinirea expansiunii. Datorită modului în care se produc exploziile, se poate presupune că toate au inițial aceeași strălucire, și astfel să se evalueze distanțele relative până la ele după intensitatea strălucirii lor. O scădere a vitezei de expansiune ar trebui să indice o distanță mai mică față de cele mai îndepărtate obiecte, decât cea dedusă din deplasarea spre roșu a radiației emise de ele. Pe scurt, cele mai îndepărtate supernove de tipul Ia ar trebui să fie neobișnuit de strălucitoare.

Încurajați de succesul astronomilor britanici și danezi de la observatorul de pe La Silla, alte echipe multinaționale au demarat proiecte de cercetare mai extinse. Conducătorii acestora erau Saul Perlmutter de la Lawrence Berkeley Lab din California și Brian Schmidt de la observatoarele australiene de la Mount Stromlo și de la Siding Spring. Ei au preluat ideea comparării imaginilor, pe care au realizat-o cu un telescop mai mare și cu camere foto pe măsură. În 1997 ambele echipe au detectat destule supernove de tip Ia la distanțe suficient de mari, pentru a putea începe măsurarea încetinerii expansiunii Universului.

² literal, Marea Sfârșimare; ipoteza colapsului universal atunci când expansiunea Universului se va opri, proces opus Big Bangului inițial. (n. red.)

Spre surprinderea tuturor, exploziile stelare îndepărtate nu erau deloc luminoase, ci mai degrabă destul de slab vizibile. La distanțe de aproape șase miliarde de ani-lumină, ele radiau cu 20% mai puțin decât era prevăzut. Aceasta arăta că expansiunea cosmică nu încetinea, ci se accelera.

„Reacția mea se situează undeva între uimire și spaimă”, comenta Schmidt la o conferință din California, de la începutul anului 1998, în cadrul căreia el și echipa și-au prezentat rezultatele. Unele ziare au aclamat descoperirea, luând-o drept demonstrație a faptului că expansiunea Universului va continua la nesfârșit, evitând un final de tipul Big Crunch și ajungând în cele din urmă un deșert de stele moarte. Dar nu asta era cel mai important. Chiar și o încetinire moderată ar fi dus la același sfârșit cenușiu și oricum, cui i-ar mai păsa de ce se va petrece peste 100 de miliarde de ani?

Implicațiile pentru fizică erau mai importante și mai directe. Un univers în expansiune accelerată impunea forței gravitaționale să se comporte într-o modalitate nouă, surprinzătoare, îndepărtând corpurile între ele, spre deosebire de gravitația obișnuită care întotdeauna determină corpurile să se atragă reciproc. Deși teoreticienii invocaseră gravitația repulsivă, sau antigravitația, ca pe un factor declanșator al Big Bang-ului, ei nu o considerau potrivită pentru un cosmos ajuns la vârsta maturității.

Această gravitație repulsivă de ultimă oră aducea cu sine un bagaj greu, o imensă cantitate de masă suplimentară în Univers. Era vorba despre energia neagră, diferită de și chiar depășind misterioasa materie neagră, despre care se spune deja că a dat peste cap cosmosul, și care, la rândul ei, depășește în cantitate materia obișnuită din care sunt făcute stelele de pe cer și stelele de mare.

● Sceptici și susținători

În filmul fraților Marx *O noapte la operă* (*A Night at the Opera*) este o scenă antologică în care o micuță cabină de vapor se aglomerează treptat cu din ce în ce mai multe persoane, venite cu diverse motive, totul culminând cu sosirea unei comenzi uriașe de ouă fierte și alte bunătăți. Pentru Edward Kolb din Chicago, aceasta era imaginea cosmologiei supernovelor. „Este o nebunie”, a spus el în 1998. „Cine are nevoie de toate chestiile astea în Univers?”

Kolb și ceilalți aveau motive să fie sceptici. Analiza ținea oare cont de efectul de absorbție al prafului cosmic? Să fi fost supernovele de tip Ia chiar atât de strălucitoare în tinerețea Universului, pe când compoziția stelelor era cu totul alta? La capătul a trei ani de dezbateri fără rezultate, unii cercetători au considerat subiectul încheiat atunci când echipa de la Berkeley a comparat retroactiv observațiile asupra unei supernove extrem de îndepărtate, descoperită de telescopul spațial Hubble în 1997.

Supernova 1997ff, aflată la o distanță de peste 10 miliarde de ani-lumină, era de tipul Ia. Strălucirea sa se potrivea perfect cu scenariul în care gravitația încetinea

expansiunea în prima parte a istoriei cosmosului, când materia era într-o formă foarte compactă, iar repulsia gravitațională prelua controlul cu piciorul pe accelerație când vârsta Universului depășea jumătate din vârsta sa actuală. Cât despre controversele referitoare la praful cosmic și la chimie, „această supernovă a înfipt un ghimpe în inima lor”, avea să declare Michael Turner de la Chicago, el însuși un sceptic convertit.

O caracteristică încântătoare a studiului supernovelor situate la mare distanță este faptul că nu trebuie să te grăbești. Efectul Doppler, prin care viteza lor de retragere face să se deplaseze spre roșu radiația emisă de ele, încetinește de asemenea și timpul, astfel încât variații ale intensității luminoase care în realitatea imediată ar dura o săptămână, par a dura o lună. Această încetinire a timpului are însă și o altă explicație: ipoteza „slăbirii” luminii, conform căreia expansiunea cosmică ar fi o doar iluzie datorată pierderii lente de energie și deplasării spre roșu a luminii, în timpul călătoriei sale îndelungate prin galaxii.

În 2002 teoria expansiunii accelerate a Universului era sprijinită și de observații de alt gen. În vreme ce supernovele de tip Ia erau niște sui-generis „lumânări standard”, adică se putea evalua distanța până la ele în funcție de strălucirea lor, noile cercetări foloseau „rigle standard”, care măsurau distanțele până la un obiect în funcție de mărimea aparentă a acestuia pe cer. Dacă Universul este într-adevăr în expansiune accelerată, o riglă ar trebui să arate mai mică decât ne-am aștepta, tocmai datorită vitezei sale de retragere.

George Efstathiou de la Cambridge și echipa sa de 27 de astronomi din Marea Britanie și din Australia au utilizat roiurile de galaxii drept rigle standard. Ei au avut la dispoziție informații despre 250 000 de galaxii, în două zone ale cerului monitorizate cu ajutorul telescopului anglo-australian de la Siding Spring din Australia. Astronomii au comparat distribuția materiei observată în roiurile de galaxii cu distribuția neomogenă a fondului cosmic de microunde. Neomogenitățile identificate de radiotelescoapele amplasate în dirijabile și la sol sunt concentrări de gaz din universul timpuriu, asemănătoare cu acelea din care s-au format roiurile de galaxii vizibile astăzi.

O comparație statistică a roiurilor de galaxii și a neomogenităților fondului de microunde a confirmat accelerarea expansiunii cosmosului. Astronomii au dedus că energia neagră responsabilă de accelerare este răspunzătoare pentru 65–85% din masa Universului. Efstathiou a spus că „ceea ce măsurăm noi este energia asociată spațiului vid.”

● Coincidențe uluitoare

La Berlin, Albert Einstein a conceput pentru prima dată ideea gravitației repulsive în 1917, pe când astronomii credeau că Universul este static. Și dacă în mod normal gravitația atractivă ar trebui să determine obiectele statice să fie atrase unele spre altele, Einstein a decretat imperios existența unei respingeri care să i

se opună. Când Universul s-a dovedit a fi în expansiune, forța de respingere nu a mai fost esențială, iar Einstein a renegat-o. „Numai moartea ne poate salva de la a face gafe”, spunea el într-o scrisoare adresată unui prieten.

Chiar și într-un univers în expansiune, gravitația repulsivă rămânea o opțiune suplimentară. Ea a fost păstrată într-o teorie matematică numită universul Friedmann-Lemaître, după numele cosmologilor rus și belgian (Alexander și Georges, respectiv) care au lucrat independent la elaborarea ei în anii 1920. Lor le aparținea scenariul conform căruia o încetinire timpurie a expansiunii cosmice, datorată gravitației, lăsa loc unei accelerări ulterioare. Așa păreau a fi lucrurile, astfel că adevărata greșeală a lui Einstein în această privință a fost de fapt lipsa de încredere în sine.

„Constanta cosmologică” a fost numele pe care el l-a dat gravitației repulsive. Neobișnuit este însă faptul că spre deosebire de constanta Hubble, constanta cosmologică trebuie să rămână cu adevărat neschimbată pe măsură ce Universul evoluează. În timp ce gravitația normală se manifestă între stele, galaxii și alte concentrații de masă, iar forța ei scade pe măsură ce galaxiile se depărtează, gravitația repulsivă ignoră masele obișnuite și nu scade niciodată.

Specialiștii în fizica particulelor elementare au un mecanism gata conceput pentru a explica gravitația repulsivă. Ei știu că spațiul vid nu este tocmai vid, ci un fel de „supă” de particule și antiparticule latente, care apar și dispar spontan, într-o clipă. Ca și energia termică a unui gaz, această energie a vidului ar trebui să exercite o presiune exterioară.

Pe de altă parte, Einstein a descoperit, în *annus mirabilis* 1905, la Berna, că masa și energia sunt echivalente. Energia vidului, sau energia neagră, asociată cu gravitația repulsivă, are o masă echivalentă. Pe măsură ce Universul se extinde, fiecare decimetru cub adițional de spațiu capătă, ca prin minune, energia necesară pentru a face față presiunii exterioare. Ne-am putea întreba de unde provine această rezervă nesfârșită de energie – sau cine e responsabil pentru ea. Vom primi o mulțime de răspunsuri de la experți, dar nimic de care să fim siguri.

Conform dovezilor furnizate de supernove, energia neagră și-a așteptat răbdătoare rândul. În spațiile care se expansionează la infinit dintre roiurile de galaxii în care s-a acumulat masiv până acum, ea pare a fi constituentul principal al Universului. După cum s-a menționat, energia neagră întrece în cantitate materia neagră, substanța nevăzută a cărei existență a fost dedusă din comportamentul galaxiilor, cu care energia neagră nu trebuie confundată. Presiunea cumulativă a energiei negre copleșește acum întreaga gravitație a Universului, accelerând expansiunea cosmică.

Aparent, energia neagră a constantei cosmologice a lui Einstein ar fi făcut Universul să explodeze atât de repede încât stelele și planetele nici nu s-ar mai fi format. Deoarece aceasta nu s-a produs, astrofizicienii și specialiștii în fizica particulelor trebuie să explice nu cum a creat Mama Natură gravitația repulsivă, ci cum a reușit s-o îmblânzească.

„Problema includerii constantei cosmologice într-o teorie rațională a materiei rămâne deocamdată nerezolvată și, în plus, a devenit și mai greu să interpretăm rezultatele observării supernovelor”, se lamenta Pedro Ferreira, un teoretician portughez de la CERN, Geneva, în 1999. „Până acum... unii au susținut că simetria fundamentală îi interzice să aibă altă valoare decât zero. Și totuși, odată cu descoperirea faptului că expansiunea Universului continuă să se accelereze, devine necesară o compensare specială – o reglare cosmică prin care numere foarte mari cu semne diferite să se adune și să rezulte un număr mic.”

Este ca un puzzle alcătuit din coincidențe inexplicabile din cosmos, prea potrivite între ele pentru a fi adevărate, al căror rol este asigurarea unei ecologii cosmice care să ne favorizeze existența. Dacă auziți pe cineva vorbind cu încântare despre triumful astrofizicii sau al fizicii particulelor, întrebați-l, o dată cu Ferreira, de ce se consideră că Universul este format din 3% materie obișnuită, 30% materie neagră și din 67% energie neagră nou apărută. De ce nu diferă proporțiile din cartea de rețete a Mamei Natura cu factori de ordinul miilor sau sutelor de mii?

Pe măsură ce explorarea Universului a continuat, vânătorii de supernove de la Berkeley au propus agenției spațiale NASA un satelit numit Snap (Supernova Acceleration Probe), care le aducea avantajul unui telescop în spațiu. Dacă va fi adoptat, proiectul Snap va încerca să lămurească o nouă problemă: este constanta cosmologică într-adevăr constantă?

● Putem capta energia neagră?

Gravitația repulsivă este cunoscută și sub numele de antigravitație, dar orice fantazie că veți putea levita cu ajutorul ei trebuie lăsată grabnic deoparte. Chiar și o bacterie ar putea produce o forță mai mare de împingere. Gravitația repulsivă este depășită de gravitația atractivă chiar și în apropierea unei galaxii, cu atât mai mult la suprafața Pământului. Altfel, toate obiectele s-ar depărta unele de altele. Cu toate astea, unii cercetători au în vedere posibilitatea captării energiei negre din spațiul vid, cea care alimentează accelerarea cosmică.

Prezența acestei „supe” clocotind de particule și antiparticule este detectabilă în efectele fine pe care le are asupra comportamentului atomilor. Ea creează de asemenea o forță care menține moleculele unite. Cunoscută încă din 1873, când a fost descoperită de Johannes van der Waals, această forță nu a putut fi explicată decât cu ajutorul mecanicii cuantice. Existența ei se datorează faptului că două molecule apropiate se ecranează reciproc pe părțile exterioare de presiunea particulelor nevăzute care vâjâie prin spațiul vid. De fapt, ele sunt forțate să fie împreună tocmai datorită acestei presiuni.

În 1948, un alt olandez, Hendrik Casimir, a prezis existența unei forțe de atracție care se manifestă similar, între două plăci metalice aflate în vid, atunci când acestea sunt foarte apropiate. La sfârșitul secolului al 20-lea au existat unele propuneri de a măsura forța Casimir într-un satelit, unde măsurătorile pot fi mult

mai precise. În 2001 cercetătorii de la Laboratoarele Bell din New Jersey au demonstrat, la sol, că forța Casimir este o potențială sursă de energie pentru motoarele extrem de mici, în cadrul unui experiment în care au evidențiat o forță de deformare între obiecte metalice aflate la distanțe microscopice.

Însă întregul experiment s-a desfășurat la o scală de o zecime de milimetru. Deocamdată nu există o metodă exactă prin care să se poată capta energia vidului, la o scală mai mare. Cu toate acestea, chiar și NASA a manifestat un interes, rezervat – ce-i drept, față de ideea descoperirii unei metode de a alimenta navele spațiale pe baza propulsiei antigravitaționale, învingând astfel forța gravitațională prin mijloace indirecte.

Scriitorul Arthur C. Clarke avea încredere în această reușită. „Este doar o problemă de timp – nu mai mult de câteva zeci de ani – până ce vom avea sisteme de propulsie spațială sigure și economice, bazate pe noile principii ale fizicii, care sunt acum dezbătute de inginerii și de cercetătorii vizionari. Când vom reuși să eficientizăm călătoriile spațiale, cheltuielile principale vor fi cele pentru servirea mesei și difuzarea de filme în timpul zborului.”

- Pentru informații despre descoperirea anterioară a accelerației cosmice, realizată de germani, precum și pentru o selecție de teorii cosmice, incluzând-o pe cea în care constanta cosmologică nu este constantă, vezi **UNIVERSUL. MATERIA NEAGRĂ** explică diferența față de energia neagră. Pentru informații despre gravitația repulsivă în universul timpuriu, vezi **BIG BANG**. Supernovele sunt din nou vedete în **ELEMENTELE CHIMICE**.

ENERGIA ȘI MASA

Moneda cosmică a celei mai faimoase ecuații a lui Einstein

ÎN GABON, ÎN VESTUL AFRICII, printre stânci cu o vechime de peste 2 miliarde de ani, curge fluviul Okelonéné, prescurtat Oklo. De-a lungul văii acestui fluviu există niște urme negre săpate adânc în stânci, reminiscențe ale locurilor din care minerii au extras pe vremuri minereu cu conținut bogat în uraniu.

Zăcămintele s-au format în straturi adânci, sub apă, într-un bazin străvechi. În condițiile lipsei de aer, uraniul, solubil în apă în prezența oxigenului, s-a

sedimentat în forme concentrate. Unul dintre primele elemente care au apărut din abundență pe Pământ, în urmă cu aproximativ 2,4 miliarde de ani, ca rezultat al evoluției bacteriilor capabile să utilizeze lumina solară pentru a disocia moleculele de apă, a fost oxigenul, prin intermediul căruia uraniul a căpătat o așa-zisă mobilitate.

Prin comparație cu zăcămintele din restul lumii, s-a constatat că minereul din valea fluviului Oklo era puternic sărăcit în izotopul de uraniu-235, necesar reactoarelor nucleare. Investigațiile ulterioare au dezvăluit implicarea Mamei Natura, care și-a fabricat reactoare nucleare proprii, la mare adâncime sub pământ, în valea Oklo, cu aproximativ 2 miliarde de ani în urmă. Acestea au consumat o parte din izotopul de uraniu-235.

Această descoperire, raportată de Comisariatul pentru Energie Atomică din Franța în anul 1972, demonstrează inventivitatea naturală anticipând-o pe cea umană. Reactoarele din valea Oklo funcționează după același principiu ca și reactoarele cu apă sub presiune folosite în submarine și în centralele nucleare. Atât submarinele cât și centralele nucleare consumă combustibil pe bază de uraniu îmbogățit cu izotopul 235, care are capacitatea de a se diviza eliberând particule subnucleare – neutroni. Apa din reactor reduce viteza neutronilor în asemenea măsură încât aceștia pot produce în mod eficient fisiunea nucleară în celelalte nuclee de uraniu-235, printr-o reacție în lanț.

Reactoarele străvechi și cele moderne sunt atât de similare încât Alexander Shlyakhter din Sankt Petersburg a integrat aceste dovezi naturale, din valea Oklo, în fizica fundamentală. El a testat faptul că forța electrică ce fisionează nucleele de uraniu-235 nu și-a modificat intensitatea în 2 miliarde de ani. Reactoarele naturale din valea Oklo au atras atenția fizicienilor, chimiștilor și geologilor preocupați de găsirea unei modalități practice prin care să îngroape deșeurile puternic radioactive produse prin fisiune nucleară în centralele nucleare și în industria armamentului.

„Suntem surprinși de cât de bine au păstrat aceste stânci obișnuite majoritatea produșilor fisiunii, în reactoarele naturale din Gabon”, a afirmat François Gauthier-Lafaye, coordonatorul unei echipe de cercetători din Strasbourg. „Într-un reactor aflat la o adâncime de 250 de metri nu există nicio urmă de contaminare radioactivă la mai mult de câțiva metri, după 2 miliarde de ani. Chiar și în cazul unui reactor aflat în prezent la o adâncime de numai 12 metri, expus intemperiilor, se poate observa că acesta s-a păstrat parțial, iar probele conțin, încă, majoritatea produșilor de fisiune.”

Reactoarele din valea Oklo au reprezentat un fenomen uluitor, posibil numai într-o „fereastră” a timpului din istoria Pământului situată între epoca zăcămintelor extrem de bogate în uraniu-235 și cea a diminuării masive a uraniului-235 prin dezintegrare radioactivă. Totuși, existența lor confirmă faptul că Natura nu pierde nicio ocazie de a extrage energie.

● Costul ridicat al materiei

„Întreaga astrofizică are la bază tentativa Naturii de a elibera energia ascunsă în materia obișnuită”, a afirmat Wallace Sargent de la Caltech. Aceasta se realizează în principal prin fuziunea nucleară a elementelor ușoare din interiorul Soarelui și al stelelor. Istoria se repetă în interiorul planetei noastre, unde câteva dintre elementele mai grele, produse în stele ce au explodat înainte de nașterea Pământului, sunt puternic radioactive. Din aceste elemente provine energia necesară menținerii „căldurii interne” care determină producerea cutremurelor, erupțiilor vulcanice și deplasarea continentelor.

Reacțiile de fuziune și de fisiune nu afectează semnificativ totalitatea materiei din Univers. Prin aceste reacții se eliberează doar o mică parte din capitalul imens de energie ce a fost stocat în materie în timpul producerii sale, la începuturile Universului. Fizicienii demonstrează cât de multă energie este necesară pentru crearea chiar și a unei cantități infime de materie, de fiecare dată când produc particule subatomice. Acest fapt se observă cu mai multă claritate atunci când un accelerator transferă electronilor și antielectronilor (pozitronilor) energie cinetică și apoi îi face să se ciocnească frontal.

Burton Richter de la Stanford, inițiatorul acestei tehnici, a explicat că a urmărit să realizeze „o stare de o densitate de energie enormă, din care ar putea lua naștere toate particulele elementare”. Cu ajutorul unui asemenea accelerator se poate crea orice particulă, în limitele puterii dispozitivului, prin simpla variație a energiei electronilor. Fizicienii cunosc cu precizie cantitatea de energie necesară. Conform teoriei lui Albert Einstein, energia este proporțională cu masa particulei dorite.

„ $E=mc^2$ – ce ecuație remarcabilă!”, a exclamat John Wheeler de la Universitatea Texas. „ E reprezintă energia, m masa și c^2 , nu viteza luminii, ci pătratul acesteia, un număr uriaș, astfel încât o masă mică să valoreze cât o cantitate imensă de energie”. Ceea ce majoritatea oamenilor știu despre darul concis al lui Einstein e faptul că, fie în scopuri bune sau rele, această formulă a deschis calea către eliberarea artificială de energie nucleară. În mod și mai surprinzător, formula pe care Einstein a mângălit-o în grabă în anul 1905 în apartamentul său din Berna, ca anexă la teoria specială a relativității, a exprimat legea creației întregului univers material, specificând moneda tranzacțiilor sale zilnice.

De asemenea, această formulă ne oferă dimensiunea efortului imens depus pentru crearea lumii. Spre exemplu, un nou-născut cu greutatea de 3 kilograme încorporează o cantitate imensă de energie cosmică. Această energie ar fi egală cu cantitatea de energie produsă de dezlănțuirea unui uragan timp de o oră întreagă sau de funcționarea unei centrale electrice timp de un an. Dacă părinții ar trebui să cumpere această energie, i-ar costa un miliard de dolari.

● O stea care se apropie și apoi se îndepărtează

Masa și energia au fost concepte total diferite în fizica secolului al 19-lea. Energia se manifesta ca mișcare, căldură, lumină, zgomot, electricitate, combustie

chimică... sau ca invizibila energie potențială a unui râu înaintea rostogolirii într-o cascadă. Energia asociată unei viteze sau unei temperaturi specifice avea o valoare mai mare în cazul unui obiect cu masa mare decât în cazul unuia cu masa mică, însă numai în sensul strict în care o duzină de oameni cu salariile lunare în buzunare sunt mai bogați împreună decât luați individual.

În momentele sale de inspirație, Einstein a realizat faptul că până și o piatră rece în repaus este extrem de bogată în energie. Masa acesteia ar trebui privită ca energie „înghețată” – fizicienii denumind-o energie de repaus. Invers, cele mai cunoscute forme de energie au la rândul lor masă. Piatra va deveni mai grea în momentul încălzirii, aruncării sau ridicării ei.

Einstein a descoperit „întâmplător” formula $E=mc^2$, în timp ce era frământat de unele posibile absurdități. Relativitatea a constituit întotdeauna o denumire nepotrivită a teoriei lui. Acest cuvânt semnifică faptul că lumea este văzută în mod diferit de către indivizi aflați în stări de mișcare diferite. De fapt, Einstein era preocupat să păstreze o realitate obiectivă, nonrelativă. El a dorit, în acest caz, să evite situația absurdă în care energia unei surse luminoase ar depinde de identitatea privitorului.

Astronomii cunoșteau deja deplasarea spre albastru și spre roșu corespunzătoare efectului Doppler. O stea care se apropie pare mai albastră decât în mod normal, deoarece mișcarea relativă comprimă radiațiile luminoase ale acesteia. O stea care se îndepărtează pare mai roșie, deoarece undele emise de ea sunt „alungite”. Pe Einstein l-a preocupat însă faptul că lumina albastră posedă mai multă energie decât cea roșie.

Dacă ați zbura pe lângă o stea – de exemplu Soarele – și ați observa steaua în trecere, întâi apropiindu-se și apoi depărtându-se, creșterea de energie prin deplasarea spre albastru ar fi mai mare decât pierderea prin deplasarea spre roșu. Ele nu se compensează reciproc. Iar creșterea energiei nu e deloc neglijabilă. V-ați putea bronza mai repede prin expunere la un Soare cu deplasare spre albastru.

Atunci de unde provine surplusul de energie emanat de către o stea care pur și simplu se mișcă în raport cu voi? Ar fi absurd să presupunem că s-ar putea modifica evoluția Soarelui doar din cauza unui simplu zbor al unei nave spațiale care trece pe lângă acesta. Pentru a evita o eroare în contabilitatea energiei din Univers, este necesară o schimbare de altă natură în ceea ce privește propria percepție a obiectului luminos.

Față de ea însăși, steaua se află în repaus. Însă steaua în mișcare este percepută ca având energie cinetică, întocmai ca în cazul trecerii unui glonț. În concluzie, se poate afirma că există un surplus de energie din punctul nostru de vedere. Surplusul de energie datorat efectului Doppler este furnizat de energia cinetică a stelei. Dar cum este posibil ca steaua să economisească numai o parte din energia sa cinetică fără a i se reduce viteza? Acest lucru ar fi posibil numai prin pierderea de masă – ceea ce înseamnă că energia luminoasă posedă masă.

Urmează apogeul intuiției geniale a lui Einstein. Nu ar fi drept ca numai surplusul de energie luminoasă responsabil de efectul Doppler să posede masă; toată lumina eliberată de stea trebuie prin urmare să posede masă. Faptul că steaua pierde din greutate sub formă de energie radiantă implică faptul că întreaga sa masă este o formă de energie.

„Astfel ajungem la concluzia mai generală că masa unui corp este o măsură a conținutului său energetic”, scria Einstein în 1905. El a mai adăugat: „Teoria ar putea fi aplicată cu succes și în cazul corpurilor cu conținut variabil de energie (spre exemplu, cazul sărurilor de radium)”.

● Cum se eliberează energia nucleară

Menționarea radiului a reprezentat un semnal pentru colegii săi fizicieni. Einstein era conștient de necesitatea introducerii unei noi surse de energie pentru a se putea explica radioactivitatea, descoperită cu 10 ani înainte. În termeni moderni, în momentul dezintegrării nucleului unui atom radioactiv, masa totală a produșilor materiali este mai mică decât masa inițială sau energia de repaus a nucleelor. Diferența este reprezentată de energia cinetică a particulelor expulzate sau de energia radiantă a razelor gama.

Energia de repaus i-a salvat pe biologi de afirmațiile disprețuitoare ale fizicienilor potrivit cărora Soarele n-ar fi putut să ardă de atâta vreme, cum susțin poveștile despre viața pe Pământ ale lui Darwin și ale vânătorilor de fosile. În deceniile care au urmat descoperirilor inspirate ale lui Einstein, procesele de ardere în Soare și în alte stele au putut fi elucidate. Cunoașterea acestor procese a condus la înmulțirea cu un factor de 100 și chiar mai mult a duratei evaluate inițial a vieții Soarelui.

În procesul de fuziune a hidrogenului în heliu, nucleul unui atom de heliu este ceva mai ușor decât cele patru nuclee de hidrogen necesare pentru obținerea sa. Soarele devine, astfel, mai ușor cu fiecare secundă care trece, prin transformarea a circa 700 de milioane de tone din hidrogenul său în circa 695 de milioane de tone de heliu și 5 tone de energie radiantă. Dar Soarele este atât de masiv încât acest proces poate continua timp de miliarde de ani.

În anul 1938, Otto Hahn și Fritz Strassmann de la Institutul de Chimie Kaiser Wilhelm din Germania au descoperit faptul că anumite nuclee de uraniu se puteau dezintegra într-un mod mult mai dur decât prin radioactivitate, rezultând nuclee de bariu cu masă mult mai redusă și alți produși. Descoperirea lor a fost confirmată de Otto Frisch și Lise Meitner de la Copenhaga, care au denumit acest proces fisiune, din cauza similarității acestuia cu divizarea unei celule vii în două celule distincte. De asemenea, aceștia au arătat că procesul de fisiune implică degajarea unei cantități enorme de energie. Niels Bohr de la Copenhaga, împreună cu tânărul John Wheeler, pe atunci la Princeton, au formulat apoi teoria fisiunii nucleare.

Toate acestea s-au petrecut într-un timp foarte scurt și într-un ritm fatidic, pe când războiul amenința să izbucnească în lumea întreagă. În consecință, prima eliberare masivă de energie nucleară s-a realizat la Chicago în anul 1942, când

Enrico Fermi a proiectat un reactor de uraniu, în cadrul programului de înarmare nucleară al Statelor Unite. Fermi nu știa că reactorii nucleari din valea Oklo i-o luaseră înainte cu 2 miliarde de ani.

În 1955 lumea era încă zguduită de șocul efectelor celor două mici bombe nucleare care explodaseră în orașele japoneze cu 10 ani în urmă și avea mari temeri în ceea ce privește efectele mult mai puternice ale bombei cu hidrogen bazată pe fuziunea nucleară. În acest context, Statele Unite au venit cu sloganul „Atomii în slujba păcii”. Toate țările urmau să fie astfel ajutate să achiziționeze tehnologia nucleară în scopuri pașnice, iar centralele nucleare promiteau cantități mari de energie ieftină și accesibilă tuturor.

Jurnaliștii au tendința de a crede orice afirmații ale oamenilor de știință de o anumită notorietate, astfel că au răspândit cu entuziasm acest mesaj, fapt care a contribuit la dezvoltarea spectaculoasă a industriei nucleare. După ce o serie întreagă de accidente produse în Marea Britanie, SUA, Uniunea Sovietică și Japonia au șifonat imaginea presei, aceasta a căzut în extrema opusă, condamnând fără discernământ tot ce ținea de domeniul nuclear. Practic, costurile au fost enorme, iar petrolul și gazul natural nu s-au epuizat, așa cum se prezisese. La sfârșitul secolului, Franța era singura țară care își producea cea mai mare parte a energiei electrice prin intermediul centralelor nucleare.

Fuziunea controlată a elementelor ușoare, similară celei din Soare, a fost o altă „mare speranță” a omenirii, dar și acest lucru rămâne încă „pe mâine”. În anii 1950 s-a afirmat că în 20 de ani se vor produce reactoare eficiente de fuziune. O jumătate de secol mai târziu, după ce s-a investit enorm în cercetarea fuziunii nucleare în Uniunea Sovietică, în Statele Unite și în Europa, producerea acestor reactoare era prevăzută tot peste 20 de ani. Fiecare răsărit de Soare confirma valabilitatea acestui principiu, însă nimeni nu putea ști cu siguranță dacă aceasta urma să se realizeze cu ajutorul dispozitivelor de confinare magnetică, al acceleratoarelor de particule sau al razelor laser.

Energia nucleară va reprezenta întotdeauna o opțiune. Cerința de a reduce emisiile de dioxid de carbon, despre care se crede că ar avea un rol important în încălzirea globală, a încurajat acordarea unei atenții sporite centralelor nucleare în unele țări. A urmat chiar și o revizuire a atitudinii față de bombele nucleare, deoarece acestea ar putea preveni eventualele catastrofe ecologice, prin distrugerea sau devierea asteroizilor și a cometelor care amenință să lovească Pământul. În ceea ce privește propulsia nucleară, aceasta ar putea fi esențială în cazul în care ființele umane vor putea zbura într-o bună zi liber prin sistemul solar sau să călătorească până la stele.

● Energie dintr-o gaură neagră

Reacțiile nucleare nu reprezintă singura modalitate de a extrage energia de repaus a materiei prin ecuația $E=mc^2$. Găurile negre realizează acest lucru într-un mod

mult mai eficient, indiferent de compoziția materialului absorbit. Iar dacă ești atât de vizionar încât temerile tale se extind până la a te întreba care va fi soarta ființelor inteligente după ce toate stelele din Univers își vor fi consumat combustibilul, e bine să știi că Roger Penrose de la Oxford deține răspunsul.

Penrose a descris modalitatea prin care se poate extrage energie dintr-o gaură neagră. Trimiteți-vă camioanele cu deșeuri și goliți-le exact la momentul potrivit, iar ele se vor întoarce la voi, ca un bumerang, cu o cantitate de energie uriașă. Prindeți camioanele într-un sistem ce generează electricitate din energia lor cinetică, reîncărcați-le cu deșeuri și repetați ciclul. Fără îndoială e o șmecherie tehnică, însă va fi necesară trecerea a sute de miliarde de ani pentru a pune în aplicare ideea lui Penrose.

Pesimiștii incorrigibili vor susține că până și găurile negre sunt muritoare. După cum a arătat pentru prima dată Stephen Hawking de la Cambridge, găurile negre radiază energie sub formă de particule create în câmpul lor gravitațional intens și, conform teoriei, aceasta duce la o „evaporare” treptată a lor. În mod practic, livrările regulate de deșeuri pot amâna la nesfârșit acest rezultat. Cine poate ști dacă ființele inteligente ce vor trăi într-un univers întunecat se vor putea bucura vreodată de lumina electrică generată gravitațional, conform formulei $E=mc^2$?

- *Pentru mai multe informații despre teoria lui Einstein referitoare la energia de repaus, vezi CĂLĂTORII CU VITEZA LUMINII. Pentru aplicații militare, vezi ARMELE NUCLEARE. Pentru echivalența dintre masa inertă și cea gravitațională, vezi GRAVITAȚIA. Referitor la originea masei particulelor elementare, vezi BOSONII HIGGS. Pentru informații privind apariția oxigenului, care a ajutat la crearea reactoarelor de la Oklo, vezi ENZIMELE GLOBALE.*



ENZIMELE GLOBALE

De ce îi fascinează în prezent pe geologi, pe chimiști
și pe biologi

MOUNT TOM PRICE, aflat la 1 000 de kilometri nord-est de orașul Perth, în lanțul muntos Hamersley din Australia de Vest, este un zăcământ de fier plasat într-o zonă aridă. A primit numele geologului american Tom Price, primul om entuziasmat de calitatea minereului din munții Hamersley. Acest geolog a murit în anul 1962, cu câțiva ani înainte de începerea exploatării miniere.

În prezent, un amestec exploziv de nitrat de amoniu și de păcură dislocă gradat bucăți din Mount Tom Price, pentru a fi expediate la combine siderurgice din întreaga lume. Această exploatare minieră și alte câteva, tot din munții Hamersley, asigură Australiei poziția de cea mai mare exportatoare de minereu de fier din lume. Privind camioanele de 200 de tone la lucru și trenul lung de 3 kilometri care transportă minereul, este greu de crezut că niște minusculi microbi sunt cei care dau valoare unor astfel de operațiuni gigantice.

Zăcămintele s-au format pe vremea când bacteriile și rudele lor apropiate, la fel de simple, numite archaea, erau încă singurii locuitori ai planetei noastre. Pe vremea aceea ele se foloseau de moleculele lor proteice chimic active, enzimele, pentru a transforma radical mediul înconjurător. Fără să știe, ele au creat un mediu mai potrivit nouă, oamenilor.

Dacă turiștii interstelari ar fi vizitat Pământul din timp în timp, pe parcursul îndelungatei sale existențe, ar fi constatat că ghidurile turistice nu erau demne de încredere, și asta nu doar din cauza mișcării continue a continentelor sau a apariției unor masive muntoase noi și a erodării celor vechi. Clima era cel mai adesea foarte caldă, însă uneori devenea insuportabil de rece. În plus, cele mai importante schimbări, elaborate cu migală de enzime, determinau adjuvantele de care ar fi avut nevoie eventualii turiști spațiali pentru a putea respira. Timp de mai mult de jumătate din istoria Pământului, oxigenul a lipsit din atmosferă.

După apariția vieții pe Pământ în urmă cu aproximativ 4 miliarde de ani, dar înainte de evenimentele reprezentate în fierul din Hamersley, cea mai importantă componentă a atmosferei, exceptând azotul, s-ar putea să fi fost metanul. În zilele noastre, acest gaz inflamabil emană din pământurile mlăștinoase, de la animale

prin eructație sau flatulență și din depozitele subterane de gaze naturale. Unii oameni de știință presupun că bacteriile producătoare de metan și echipamentele lor biomoleculare erau predominante în era timpurie a vieții pe Pământ. Acest gaz cu efect de seră, metanul, împiedică radiația termică (a Soarelui reflectată de Pământ, n.t.) să revină în spațiu, și astfel ar fi putut ajuta la păstrarea căldurii planetei noastre, în perioada în care Soarele, după calculele astronomilor, radia mult mai slab decât acum. Apoi planeta a ruginit. Aceasta este pe scurt povestea lui Mount Tom Price și a altor zăcămintele similare, denumite formațiuni sedimentare feruginoase și silicioase sau B.I.F.¹, care ocupă arii întinse răspândite pe suprafața Pământului, și care au apărut în urmă cu 2,5–2 miliarde de ani. Cantitatea de fier accesibilă având această vârstă totalizează 140 de miliarde de tone, mai mult de jumătate din întreaga cantitate de minereu de fier de pe planetă.

În anul 1968, Preston Cloud de la UC Santa Barbara a emis ipoteza că această formare masivă a zăcămintelor de fier, pe vremea când Pământul avea jumătate din vârsta lui actuală, marchează începutul producerii oxigenului liber de către microbi cu enzime noi. Oxigenul ar fi reacționat cu fierul dizolvat în hidrosferă – oceane și apă dulce – pentru a forma oxizi de fier insolubili.

„Fierul putea fi transportat în soluții în stare feroasă și putea precipita în oxizi ferici sau fero-ferici prin combinarea cu oxigenul biologic”, a sugerat Cloud. „Hidrosfera ar fi fost apoi curățată de compuși feroși cu ocazia ultimei perioade de sedimentare a formațiunilor sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.). Iar oxigenul s-ar fi acumulat în exces în hidrosferă și ar fi început să evadeze în atmosferă.”

Aceasta ar fi fost originea aerului bogat în oxigen pe care îl respirăm, după cum considera Cloud. Printre microbii responsabili de aceste schimbări majore, el i-a nominalizat pe strămoșii cianobacteriilor actuale, cunoscute de asemenea sub denumirea de alge verzi-albastre. Ele sunt un tip foarte evoluat de bacterii fotosintetizatoare, care se dezvoltă cu ajutorul luminii solare. Algele verzi-albastre dezvoltă un complex de molecule numit Fotosistem II care include o enzimă specială ce scindează moleculele de apă în hidrogen și oxigen.

După părerea lui Cloud, această enzimă a strămoșilor verzi-albaștri a revoluționat viața pe Pământ. Ea a jucat un rol-cheie în depunerea formațiunilor sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.) deasupra platformei continentale ce alcătuiește fundul mărilor și al oceanelor. Activitățile geologice ulterioare au înălțat o parte din zăcămintele deasupra nivelului mării și le-au adus la lumină în favoarea noastră, pe Mount Tom Price și în alte locuri.

¹ Banded iron formation (B.I.F.) = un tip de rocă ce se găsește în sedimentele vechi. Structura e alcătuită din straturi subțiri de oxizi de fier (magnetit sau hematit), alternând cu benzi de șist argilos (sau bituminos) sărac în fier și șist silicios.

● Mangan pe „Bulgărele de zăpadă”²

Povestea lui Cloud era interesantă, dar greu de dovedit. Dovezile chimice, mai ales cele legate de libertatea de acțiune a moleculelor sulfuroase pe tânăra planetă Pământ, indicau o absență a oxigenului liber cu 2,5 miliarde de ani înainte. Dar rolul oxigenului în depunerea formațiunilor feruginoase și silicioase (B.I.F.) era departe de a deveni o certitudine. Bacteriile împreună cu enzimele lor dispun de multe alte trucuri chimice, în afară de eliberarea oxigenului, pentru a realiza ruginirea planetei – adică pentru formarea zăcămintelor de oxizi de fier insolubili. Unele formațiuni sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.) datează din era mai recentă a oxigenului liber.

Un alt element metalic, manganul, are cu adevărat nevoie de oxigen pentru a precipita. În deșertul Kalahari din Africa de Sud, un bogat zăcământ de oxid de mangan, cea mai mare sursă directă din lume a acestui metal valoros folosit la fabricarea oțelului, însoțește fierul oxidat din formațiunile sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.). Zăcămintele de mangan s-au format în urmă cu aproximativ 2,2 miliarde de ani, puțin după debutul freneziei globale a formării zăcămintelor de fier. Pentru Joseph Kirschvink de la Caltech, acesta a fost argumentul hotărâtor în favoarea implicării oxigenului liber.

Kirschvink și colaboratorii săi de la Caltech și-au unit forțele cu geologii de la Universitatea Rand Afrikaans din Africa de Sud pentru a găsi implicațiile chimice și microbiene ale fierului și manganului. Ei au descoperit faptul că fierul părăsește mult mai repede decât manganul soluția în apa oxigenată. Pentru un timp, în fosta mare în locul căreia se află acum deșertul Kalahari nu a mai rămas suficient fier dizolvat în apa din anumite zone pentru a consuma oxigenul. Atunci a venit rândul manganului.

În 1992, Kirschvink făcuse deja legătura între episoadele ulterioare ale depunerii formațiunilor sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.), datând de aproximativ 700 de milioane de ani, și crizele climatice majore pe care el le-a numit „Bulgărele de zăpadă”. De mai multe ori ghețarii au apărut chiar și la tropice, iar Kirschvink a analizat consecințele ipotezei că întregul ocean ar fi fost de asemenea acoperit de gheață. Sărăcită în oxigen, apa ar fi devenit din nou ospitalieră pentru fierul solubil. Atunci când gheața s-ar fi topit și oxigenul ar fi revenit, s-ar fi format în multe zone de pe glob noi zăcămintele de fier.

În 1997 au apărut noi dovezi ale existenței unor ghețari tropicali în urmă cu 2,4–2,2 miliarde de ani. Acest lucru i-a permis lui Kirschvink să extindă ipoteza

² În anii 1960 s-a avansat ipoteza conform căreia în urma unui puternic proces glacial ce a avut loc acum 750–580 milioane de ani, în timpul Neoproterozoicului, mare parte din planetă a fost acoperită cu un strat de gheață. Această ipoteză a fost denumită „Bulgărele de zăpadă” (Snowball Earth) și este de un real interes întrucât este anterioară exploziei de viețuitoare din perioada Cambrianului, când formele de viață multicelulare au început să prospere (n. red.).

„Bulgărelui de zăpadă” până la această perioadă timpurie a formațiunilor sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.). El a mers mai departe cu acest scenariu presupunând că algele verzi-albastre au evoluat în urmă cu 2,4 miliarde de ani și că prima dovadă de netăgăduit a impactului enzimelor lor, ce puteau descompune apa în hidrogen și oxigen, era manganul din deșertul Kalahari.

● Implicațiile uluitoare ale efectelor oxigenului

Mai exista o parte a poveștii formațiunilor sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.), pe care Kirschvink și colaboratorii săi nu au neglijat-o. Viața era într-o situație de criză deoarece oxigenul acționează ca o otravă. El este deosebit de reactiv față de delicatele biomolecule bogate în carbon ale organismelor vii. În timpul primilor 1,5 miliarde de ani ai vieții de pe Pământ, singurele expuneri la oxigenul liber au fost pur întâmplătoare. Odată cu apariția algelor verzi-albastre, ce produceau din abundență elementul ucigător, microbii au trebuit să realizeze o adaptare chimică rapidă pentru a se proteja de oxigen.

O nouă enzimă a intrat atunci în scenă, devenind simbolul contraatacului evolutiv. Superoxid-dismutaza (SOD) dezarmează ionii negativi de oxigen care conduc atacul asupra biomoleculelor. Se cunosc multe variante de SOD în bacterii, archaea, ciuperci, plante și animale, și chiar în ființele umane. Fără SOD, viața în aer liber ar fi imposibilă în lumea noastră oxigenată.

Eric Gaidos, Elizabeth Bertani și Rachel Steinberger, biologi la Caltech și colaboratori ai lui Kirschvink, au folosit diferențele moleculare dintre versiunile diferite ale enzimei pentru a le identifica în strămoșii comuni. În anul 2000 echipa a reușit să deducă faptul că o perioadă de tatonări evolutive (observabilă în liniile de descendență ale SOD) a însoțit debutul fenomenului de ruginire planetară datat geologic cu 2,4 miliarde de ani în urmă.

Această îmbinare originală dintre biologie și geologie, în studiul enzimelor active la nivel global, ar reprezenta un mare succes chiar și în cazul în care SOD ar fi o moleculă mai puțin cunoscută. Departamentul însă de a fi obscură, SOD a intrat în componența unor medicamente care se găsesc în farmacii. Ele sunt utilizate pentru a întări sistemul imunitar uman împotriva efectelor dăunătoare ale oxigenului. Administrarea orală a enzimelor s-ar putea să nu ajute, însă se fac tot mai multe studii medicale și farmaceutice asupra SOD și a biochimiei conexe pentru a înțelege și a trata cazurile în care activitatea sa de protecție eșuează.

Influența dăunătoare a oxigenului asupra biomoleculelor poate determina apariția cancerului, a bolii Alzheimer, și a efectelor generale ale îmbătrânirii. O unificare a științelor la începutul secolului al 21-lea schițează astfel legături clarificate cauză-efect care se extind de la salonul de nebuni, înapoi în timp, până la mineralele din deșerturile australiene și sud-africane, și în continuare până la schimbarea climatică de acum mai bine de 2 miliarde de ani.

„Același lucru s-a întâmplat de mai multe ori între 720 și 600 de milioane de ani în urmă, când Pământul a înghețat în repetate rânduri”, a explicat Kirschvink. „A urmat apoi o creștere bruscă a cantității de oxigen ce a determinat depunerea formațiunilor sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.) și formarea zăcămintelor de mangan asociate pe teritoriile Canadei, Braziliei și în alte zone de pe glob. În timp ce evenimentul anterior a determinat o schimbare bruscă în evoluția microbiană cu scopul apărării împotriva oxigenului, acest nou eveniment a fost urmat de evoluția animalelor consumatoare de oxigen. Așadar, putem începe să asociem evoluția biomoleculelor – genele și enzimele – cu evenimente datate din istoria Pământului”.

● **Atenție la microbi!**

Când oxigenul a devenit o componentă obișnuită a apelor de suprafață, multe bacterii și archaea s-au retras din calea inamicului, devenind anaerobe și evitând oxigenul. Descendenții lor, cum ar fi substanțele metanogene din mlaștini, duc o existență prosperă în condiții lipsite de aer. Alte creaturi și-au dezvoltat sisteme de protecție moleculară, oxigenul devenind util noilor forme de viață. Dispunând de enzimele adecvate, oxigenul poate fi folosit pentru a transforma hrana organică în energie, printr-un proces controlat asemănător arderii. Acest fapt a deschis calea evoluției ciupercilor, animalelor și plantelor superioare.

Deși concentrația oxigenului din atmosferă a crescut gradat, totuși toate animalele și plantele au rămas captive în oceane și ape dulci. Fără îndoială, ciupercile și bacteriile au fost pionierii vieții pe uscat. Însă abia cu 400 de milioane de ani în urmă au ieșit din apă creaturi complexe, suficient de mari pentru a fi găsite ulterior de vânătorii de fosile în invazii ale uscatului care devin astfel detectabile.

Acest fapt a declanșat o nouă schimbare la nivel planetar. Înveșmântând treptat planeta cu verdețură, pentru prima dată în istoria ei, acești locuitori terestri neobișnuiți au transformat înfățișarea Pământului într-una care începea să semene vag cu cea de astăzi. Biochimia a jucat rolul principal cu ajutorul seturilor de enzime noi, iar geochimia și meteorologia au avut roluri secundare.

Continentele s-au extins prin transformarea bazaltului într-un granit mai puțin dens. Activitatea vulcanică l-a aprovizionat continuu cu oligoelemente esențiale vieții, ca fierul și fosforul. Pentru viața extraacvatică, vânturile au devenit conductorii apei pluviale indispensabile, ai dioxidului de carbon și ai oxigenului. Chiar și în zilele noastre, plantele microscopice subacvatice, cum ar fi diatomeele, mențin în mod discret resursele noastre de oxigen, prin descompunerea apei.

Așadar, enzimele conduc lumea într-un mod foarte concret. Gazul pe care îl respirăm, rocile și solul pe care le utilizăm sunt create de ele. Omul de știință de naționalitate rusă, Vladimir Vernadsky, care a murit în 1945, a recunoscut viața ca fiind o forță geologică majoră ce intervine constant în chimia Pământului.

Abia spre sfârșitul secolului al 20-lea mai mulți oameni de știință au acordat în mod conștient atenție impactului global al sistemelor biochimice. Evoluționiștii

care au examinat fosilele din rocile de calcar au fost mai interesați de speciile găsite decât de efectele carbonatului însuși în eliminarea dioxidului de carbon din atmosferă. Microbiologii erau preocupați de bacterii, de virusuri și de paraziți generatori de boli sau de microbii folosiți în industria alimentară.

John Postgate de la Laboratorul Național de Chimie din Marea Britanie și mai apoi de la Universitatea Sussex se numără printre cei care au acordat o atenție sporită bacteriilor active în mediul înconjurător. El s-a ocupat mai ales de azot. Una dintre curiozitățile vieții este faptul că deși acest gaz reprezintă principala componentă a atmosferei, el este rar întâlnit în formele stabile indispensabile tuturor organismelor. Drept rezultat, specia umană se poate hrăni doar combinând azotul, pe cale industrială, la o scară gigantică.

Microbii care au capacitatea de a fixa azotul sunt foarte puțini. Printre ei se numără și unele alge verzi-albastre, care dețin rolul principal în fertilizarea oceanelor. Descompunerea apei pentru a obține oxigen și reducerea azotului pentru obținerea amoniacului sunt operații chimice contradictorii. Algele verzi-albastre rezolvă această problemă prin efectuarea celor două operații în momente diferite ale zilei.

Pe uscat, sarcina de a fixa azotul revine unor bacterii din sol și unor bacterii ce se găsesc în nodozitățile rădăcinilor unor plante leguminoase, cum ar fi fasolea. În anul 1972, Postgate a reușit să transfere gena pentru enzima-cheie, nitrogenaza, de la o bacterie la alta. Visul său era de a crea posibilitatea ca grâul și alte plante de cultură să își poată fixa singure azotul, reducând astfel dependența fermierilor de azotul industrial.

Alți oameni de știință erau îngrijorați de intervenția în răspândirea unei enzime globale atât de fundamentale. Ei au atras atenția asupra riscului ca aceste organisme create de om pentru a fixa azotul să se dezvolte prea repede și să scape de sub control. Probabil că există motive pe care noi nu le cunoaștem încă, pentru care natura limitează fixarea azotului. În 2002, experimentele realizate de Rafael Navarro-González, de la Universitatea Națională Autonomă din Mexic, împreună cu colaboratorii săi, au întărit ideea că viața s-a bazat inițial pe azotul fixat de descărcările electrice produse de fulgere, dar această sursă s-a diminuat pe măsură ce compoziția atmosferei s-a modificat. Apoi enzimele au devenit necesare.

● Ipoteza Gaia

În 1965 NASA a apelat la serviciile lui James Lovelock, un chimist britanic independent, pentru a căuta viață pe planeta Marte. Lovelock și-a nemulțumit clientul afirmând că nu există viață pe planeta roșie. Atmosfera lui Marte pare să fie stabilă chimic și acest lucru, a argumentat el, este în contrast cu atmosfera Pământului, unde organismele vii emană substanțe instabile unele în prezența altora – spre exemplu, metanul ce devine combustibil în prezența oxigenului.

Lovelock a continuat să se gândească la Pământ și și-a pus întrebarea de ce instabilitatea acestuia nu scapă niciodată de sub control. În anii 1970, el a făcut publică ideea unei conspirații inconștiente ce controlează surplusul sau lipsa de materii-cheie³. Organismele reglează în mod continuu procesele chimice de la suprafața Pământului, din atmosferă și din oceane, într-o manieră ce contracarează tendințele adverse. Aceasta este ipoteza Gaia, numită astfel după zeița Pământului din mitologia greacă.

„Întregul spectru al materiei vii de pe Pământ”, scria Lovelock, „de la balene la virusuri și de la stejari la alge, poate fi privit ca o entitate vie capabilă să mențină atmosfera Pământului în armonie cu totalitatea necesităților sale și care este înzestrată cu aptitudini și puteri ce le depășesc cu mult pe cele ale părților sale constituente”.

Ideea a fost aclamată public deoarece era compatibilă atât cu mișcarea ecologistă, cât și cu idealismul modern de tip New Age. Dintre oamenii de știință, o renumită specialistă americană în microbiologie, Lynn Margulis, a devenit cea mai înfocată susținătoare a lui Lovelock și i-a furnizat informații utile cu privire la activitatea microbilor. Cu această excepție, reacțiile specialiștilor au fost lipsite de entuziasm sau antagoniste.

Gaia, privită ca un sistem de organisme cu autoreglare, a rămas o ipoteză încă neverificată științific. Cel mai important efect de până acum al acestei ipoteze este faptul că toată lumea, inclusiv cei mai severi critici ai lui Lovelock, a acordat o atenție sporită enzimelor globale. Rolul sulfului în formarea norilor este un astfel de exemplu.

Pentru a se forma, norii au nevoie de mici particule solide, aerosolii, în jurul cărora să se poată condensa picăturile. Deasupra uscatului există din belșug diferite forme de praf. Praful este însă mult mai rar în aerul curat de deasupra oceanelor, iar unele alge din apă sunt o sursă importantă de aerosoli. Enzimele lor produc dimetil sulfură (CH_3SCH_3), care se transformă în picături de acid sulfuric ce ajută la formarea norilor.

În 1987, Lovelock și alții au indicat că variațiile abundenței de alge ar putea afecta clima prin modificarea învelișului de nori al Pământului. Această idee a stimulat cercetări peste tot în lume, care au confirmat legătura dintre abundența de dimetil sulfură și acidul sulfuric atmosferic. Oamenii de știință au descoperit în straturile de gheață din adâncime de la baza rusească Vostok din Antarctica o creștere apreciabilă a cantității de acid sulfuric în timpul ultimei ere glaciare. Lovelock preconizase o scădere în condițiile unei răcirii. În orice caz, rezultatul a reprezentat o nouă piesă așezată în jocul de puzzle al climatului, de data aceasta având legătură cu microbii și cu enzimele lor.

³ substanțe generatoare de gaze cu efect de seră – metan, oxizi de fier, dioxid de carbon etc. (n. red.)

● Promisiunea biologiei moleculare

Lista acțiunilor microbiene implicate în procesele geologice obișnuite a fost, de asemenea, extinsă. Ciupercile atacă rocile cu multe tipuri de acizi și accelerează puternic efectele agenților atmosferici și de eroziune care nivelează lanțurile muntoase. În timpul acestui proces, ele ajută, de asemenea, la formarea solului. Invers, ele consolidează sedimentele pe fundul mărilor, al lacurilor și al râurilor.

Microbii precipită metalele din apă, controlând astfel compoziția ei chimică și formând, de asemenea, importante zăcămintele de zinc, de aur, de uraniu și de alte metale, în afară de cele de fier și de mangan deja amintite. Ei sunt agenți importanți în circulația globală a carbonului, a azotului, a fosforului, a sulfului și a altor elemente-cheie ce parcurg circuite în cadrul sistemului Pământului. Multe detalii ale operațiunilor lor ies abia acum la lumină.

Progresele biologiei moleculare cresc speranțele oamenilor de știință că într-o zi vor înțelege pe deplin rolul enzimelor globale. Cuvintele la ordinea zilei sunt genomica și proteomica. În timp ce genomul reprezintă setul complet de gene al unui organism, ce include codurile necesare construirii moleculelor sale active, proteomul reprezintă setul complet de proteine al organismului, incluzând și enzimele.

Deși genomul uman a beneficiat de publicitate sporită, o extindere rapidă a listei genomurilor bacteriene a devenit posibilă abia la începutul secolului al 21-lea. Instrumentele biologilor moleculari ușurează considerabil munca de căutare a anumitor enzime, fie în codurile lor genetice, fie ca molecule proteice sintetizate. Există, de asemenea, multe gene ale căror funcții nu sunt cunoscute încă. Prin urmare, multe enzime noi care pot avea o importanță majoră așteaptă să fie descoperite.

Un consorțiu academic german anunță scopul proteomicii planetare ca fiind acela de a caracteriza toate enzimele momentan active în mantaua vie a Pământului. Proteomul biosferei? Pare titlul unui proiect ce va dura 100 de ani și probabil că așa și este. Ceea ce îl încadrează în limitele posibilului este faptul că Mama Natură și-a păstrat cele mai bune proteine ale sale de-a lungul miliardelor de ani de evoluție. Aceleași molecule sau molecule similare se întâlnesc la foarte multe organisme.

Genomurile spun multe despre istoria evolutivă a posesorilor lor. Comparațiile între diferite specii, la fel ca în studiul de la Caltech referitor la apariția formațiunilor sedimentare feruginoase și silicioase (B.I.F.) de acum 2,4 miliarde de ani, pot dezvălui schimbări simultane într-un număr de genomuri, ce sunt legate direct de evenimente datate din istoria Pământului. Se caută acum genele și enzimele care evidențiază urmările schimbărilor climatice și ale impactului cometelor și asteroizilor asupra vieții, sau apariția unor noi moduri prin care organismele ar fi putut supraviețui.

● Materie de „rumegat”

Fără iarbă, lumea ar fi fost greu de recunoscut. Animalele ar fi fost foarte diferite, și s-ar putea să nu fi existat oameni, deoarece noi suntem urmașii evolutivi ai pășunilor africane. De asemenea, suprafețe întinse ale globului nu ar mai fi fost cultivate cu plante selecționate – grâu, orez etc.. Alte plante mai mici ar fi acoperit solul, exercitând o influență similară asupra vremii în condiții normale, dar nu este sigur că ele ar fi fost la fel de rezistente la secetă, la foc sau la pășunatul excesiv. Dacă nu ar fi fost la fel de rezistente, clima globală ar fi fost diferită, iar solurile ar fi devenit mai vulnerabile la eroziune.

Și totuși, în 99% din timpul în care turiștii interplanetari ar fi vizitat Pământul, ei nu ar fi găsit nicio pășune. Abia în urmă cu 30 de milioane de ani, plante asemănătoare bambusului au evoluat în forme adaptate pentru a acoperi zone întinse asemănătoare pășunilor actuale. Apariția lor a fost stimulată de o răcire majoră a climatului, care a eliminat cea mai mare parte a pădurilor tropicale ale lumii. Câmpiile erau măturate de vânturi, astfel încât ierburile se puteau dispensa de florile capricioase pentru a răspândi polenul. Gazonul s-a răspândit în mod clandestin.

Dar vânturile de prerie au extins, de asemenea, incendiile provocate de fulgere sau de vulcani. Iarba și-a dezvoltat un mod diferit de creștere, de la baza frunzei și nu de la vârful ei. Astfel, focul putea trece lăsând părțile esențiale dezvoltării nevătămate și distrugând în același timp arbuștii ce concureau pentru teritoriu. Incendiile provocate mai apoi de oameni au ajutat la menținerea și extinderea pășunilor.

Modul de creștere al ierbii o făcea îndeajuns de tolerantă cu animalele erbivore, care au ajutat, de asemenea, la distrugerea arbuștilor. Dar ce-i prea mult nu-i sănătos și astfel ierburile care au supraviețuit cel mai bine au fost cele care s-au fortificat, devenind abrazive pentru dinții animalelor și greu de digerat. Pentru aceasta, ele și-au poleit frunzele cu silice.

Unele mamifere s-au adaptat la această hrană abrazivă, folosind bacterii care făceau digestia principală. Astfel, stomacul căprioarelor, al caprelor, al vitelor și al altor rumegătoare a devenit o cultură bacteriană pentru fermentarea ierburilor și a altor frunze. Animalele rumegă și apoi se hrănesc cu supa bacteriană într-un al doilea stomac.

Pentru digestia eficientă a bacteriilor sunt necesare enzime speciale. Una este ribonucleaza, care consumă acizii lor nucleici. În 1995, Steven Benner și colaboratorii săi de la Universitatea Tehnică ETH Zürich au reconstruit în laborator moleculele străvechi de ribonuclează. Pornind de la asemănările și diferențele dintre moleculele actuale ale diferitelor animale, oamenii de știință au dedus compoziția ribonucleazei așa cum ar fi fost ea acum 40 de milioane de ani, la strămoșii rumegătoarelor de astăzi. Deși nu au mai fost întâlnite în era umană, moleculele reconstruite reușesc foarte bine să descompună acizii nucleici bacterieni.

Mai târziu, când Benner s-a mutat în Florida, el și colaboratorii săi au afirmat: „Aceste date au conferit o dimensiune planetară ribonucleazei care părea a fi doar o notă explicativă. În loc să spunem că „ribonucleaza este implicată în digestia rumegătoarelor”, putem spune că ribonucleaza a apărut la animale care și-au dezvoltat digestia prin rumegare în momentul apariției plantelor greu de digerat, permițând astfel descendenților lor să exploateze o resursă nou apărută în timpul unei revoluții climatice globale”.

Dacă vă îndoiiți de semnificația planetară a proceselor digestive ale animalelor, gândiți-vă la faptul că un produs enzimatic secundar al rumegatului este metanul. El este produs de archaea, ai cărei strămoși făceau același lucru cu miliarde de ani în urmă, înainte ca pe Pământ să se găsească oxigen liber. Animalele produc în total aproximativ 100 de milioane de tone de metan pe an. Această cantitate reprezintă aproximativ 1/6 din întreaga cantitate de metan eliberată în aer de sursele naturale sau de către om. Metanul are efecte mult mai puternice, ca gaz de seră, decât dioxidul de carbon, iar unii specialiști în probleme climatice și-au exprimat îngrijorarea cu privire la creșterea cantității de metan odată cu creșterea populației umane, și deci implicit a apetitului pentru carnea și laptele rumegătoarelor.

- Pentru un alt exemplu din istoria enzimelor, vezi **ALCOOLUL**. Alte subiecte conexe includ **FOTOSINTEZA**, **BACTERIILE EXTREMOFILE** și **PROTEOME**. Referiri la ipoteza „Bulgărelui de zăpadă” se găsesc și în **EXPLOZIA CAMBRIANĂ**.



De ce selecția naturală a lui Darwin
n-a reușit s-o explice în totalitate?

PENTRU ORICE PARIZIAN, Pasteur este numele unei stații de metrou. Aceasta are ieșire în Bulevardul Pasteur, de unde se poate ajunge pe Rue du Docteur Roux, numită astfel după discipolul marelui microbiologist care a creat serul împotriva difteriei. Într-un campus mare, ce se extinde de o parte și de cealaltă a străzii, se află laboratorul privat non-profit, susținut din fondurile provenite din vânzarea vaccinurilor – Institutul Pasteur.

François Jacob a ajuns acolo ca tânăr cercetător, în 1950. Rănile grave pe care le-a suferit în timp ce lupta în divizia a doua blindată în bătălia din Normandia

l-au împiedicat să-și împlinească visul de a deveni chirurg. În schimb, el a devenit specialist în genetică celulară, iar în anul 1964 a primit Premiul Nobel, alături de colegii săi mai în vârstă, André Lwoff și Jacques Monod, pentru descoperirile inovatoare referitoare la funcționarea genelor într-o celulă vie.

Aceasta era adevărata biologie, ce înfățișa bacteriile utilizându-și genele pentru a supraviețui în condițiile unei nutriții neadecvate. Descoperirile franceze au contrastat puternic cu tendințele anglo-americane de la jumătatea secolului al 20-lea, care păreau să reducă biologia la descifrarea codurilor moleculare, pe de-o parte, și la matematica genelor, pe de altă parte. Jacob și-a folosit statutul său de laureat al Premiului Nobel pentru a se opune acestor tendințe înguste. În cadrul unor cursuri ținute la Seattle în anul 1982, el a pus sub semnul întrebării versiunea teoriei darwiniste a evoluției, foarte populară la acea vreme.

„Șansa ca această teorie să fie într-o bună zi respinsă ca întreg este în prezent aproape nulă”, a afirmat Jacob. „Însă suntem departe de versiunea finală a acesteia, în special în ceea ce privește mecanismele care stau la baza evoluției”. El a argumentat că doar în câteva cazuri simple, cum ar fi grupele sanguine, exista o corelație confirmată între mesajele ereditare transmise de gene și caracteristicile întregului organism.

Cu și mai multă convingere, Jacob a subliniat faptul că fiecare microb, plantă sau animal posedă un potențial latent pentru modificări inimaginabile. Genele tuturor animalelor sunt, în linii mari, similare. Genele cimpanzeilor sunt efectiv identice cu cele umane. Diferența constă în utilizarea acestor gene. Seria de prelegeri ținută de Jacob la Seattle s-a intitulat *Posibilul și Realul*, iar cea mai citată dintre acestea se numea „Cârpeala evoluționistă”.

Dintre dovezile fosile ale cursului evoluției, o singură imagine concentrează esența ideilor lui Jacob. Încercând să respire oxigen, peștii de apă curgătoare care ajungeau în lacuri cu apă stătătoare și-au dezvoltat capacitatea de a respira aerul de la suprafața apei utilizând esofagul. De aceea dezvoltarea capacității esofagului, realizată prin formarea pungilor, a devenit un avantaj care, la un pește obișnuit, în condiții normale, ar fi considerat un defect din naștere. Astfel, un pește rămas în afara apei a inventat aparatul respirator al animalelor vertebrate de pe uscat.

„A face un plămân dintr-o bucată de esofag sună ca și cum ai croi o fustă dintr-o bucată din perdeaua buncii”, a spus Jacob. Această noțiune de „cârpeală evoluționistă” nu a fost în totalitate originală, după cum a recunoscut și Jacob. Însuși Charles Darwin subliniasă ideea că într-un organism viu aproape fiecare parte a deservea inițial scopuri diferite în formele primitive, ca și cum ar fi fost asamblată o nouă mașină utilizând roți, arcuri și scripeti vechi.

Jacob a știut unde să caute explicația modului în care evoluția realiza acea „cârpeală”. Înțelegerea acestui aspect a venit odată cu descifrarea mecanismelor care activau sau dezactivau genele în timpul transformării unui ou fertilizat într-un embrion și apoi într-un adult. Aceasta se petrece atunci când se formează țesuturi și

organe cu funcții diferite și când modificările controlului genelor pot transforma posibilul în real. Orice schimbări ale programului ereditar pot duce la crearea unui monstru nefuncțional. Câteodată, precum în cazul peștilor care se luptă să respire oxigen, aceste schimbări sunt deschizătoare de noi căi salvatoare ale vieții în procesul evoluției.

Din punctul de vedere al pozitiviștilor britanici și americani, obișnuiți să discrediteze gândirea profundă în tradiția lui René Descartes, Jacob nu era altceva decât un alt francez cu un discurs confuz și plictisitor. Însă secolul al 21-lea a demonstrat că el avea dreptate, iar ei se înșelau. Principala viziune anglo-americană asupra vieții și a evoluției acesteia fusese eronată în tot acest timp.

● Darwin plus Mendel

Fiind unica somitate comparabilă cu Einstein pe care a avut-o vreodată biologia, Darwin s-a descurcat extraordinar. Însă nu el a inventat ideea de evoluție, potrivit căreia ființele vii ar fi descendente ale unor diferite specii timpurii. Bunicul său, Erasmus, compunea poezii despre această teorie, pe vremea când Jean-Baptiste de Lamarck, din Paris, aduna dovezi convingătoare privind înrudirea formelor vii cu cele dispărute. Darwin nu a făcut decât să prezinte din nou argumentele în favoarea evoluției și să le dea greutate propunând un mecanism pentru schimbările necesare.

Așa cum fermierii selectează cele mai bune specimene de plante sau animale în vederea altoirii sau reproducerii, Mama Natură își perfecționează în mod constant speciile în timpul nesfârșitelor probe ale vieții. Diferențele ereditare dintre indivizi permit îmbunătățirea continuă și gradată a performanțelor. Cel mai potrivit specimen, cu cel mai mare grad de adaptare la un anumit stil de viață, tinde să supraviețuiască și să lase cel mai mare număr de urmași. Speciile vor evolua prin mecanismul selecției naturale. Aceasta reprezintă o idee convingătoare, considerată uneori chiar autoevidentă.

În 1872 Darwin scria: „Se poate afirma că selecția naturală examinează minuțios, în fiecare zi și oră, cele mai mici variații din întreaga lume, respingându-le pe cele nepotrivite, păstrându-le și înmulțindu-le pe cele potrivite, lucrând mută și invizibilă, de câte ori și oriunde apare ocazia, la perfecționarea fiecărei ființe organice, în raport cu condițiile organice și anorganice ale vieții acesteia”.

Deși teoria lui a avut la bază variațiile ereditare, Darwin nu cunoștea modalitatea de funcționare a eredității. Descoperirea lui Gregor Mendel de la Brunn, Austria, că genele sunt de fapt unități ale eredității, a fost un fapt neglijat în timpul vieții lui Darwin. Astfel, generația următoare a avut sarcina de a realiza o sinteză neodarwinistă care să cuprindă selecția naturală și genetica.

Geneticienii care au lucrat la această sinteză în perioada anilor 1920 și 1930, Ronald Fisher și J. B. S. Haldane din Anglia și Sewall Wright de la Chicago, au acționat ei înșiși fără a avea prea multe informații. Aceasta se petrecea înainte de

identificarea acidului dezoxiribonucleic, ADN-ul, ca material fizic al genelor. Totuși, ei și-au putut reprezenta diferite versiuni ale genelor coexistente într-o specie de plante sau de animale și au descris matematic probabilitățile acestora.

Procesele de reproducere amestecă în mod constant genele, acestea fiind astfel testate în foarte multe combinații diferite. Prin mutație apar noi versiuni de gene care pot să dispară pur și simplu în mod natural, din cauză că sunt inițial foarte puține în specia respectivă. Dacă nu dispar, acestea sunt evaluate de selecția naturală. Majoritatea mutațiilor sunt dăunătoare, fiind eliminate astfel din codul genetic, deoarece organismele mutante au șanse mai slabe de a lăsa urmași vii și sănătoși. Însă uneori mutațiile pot constitui un avantaj, iar genele mutante pot să prospere și să se răspândească în cadrul speciei, continuând astfel procesul evoluției.

William Hamilton de la Oxford a fost cel mai de seamă neodarwinist din cea de-a doua jumătate a secolului al 20-lea. El a folosit teoria genetică a selecției naturale într-un mod genial, pentru a găsi răspunsul unor ghicitori care păreau să sfideze soluțiile neodarwiniste. Dacă cel mai important aspect îl constituie supraviețuirea genelor unui individ, de ce nu s-au generalizat comportamentul total egoist și nașterile virgine? Hamilton considera că altruismul manifestat de către organismele înrudite sau prietene oferă un răspuns la prima parte a întrebării, în timp ce a doua parte își găsește un răspuns în faptul că amestecarea sexuală a genelor a crescut rezistența la boli. Aceste performanțe au utilizat selecția naturală pentru a aduce lumină în domenii vaste ale vieții.

● Șocuri în sistem

O serie de descoperiri din cea de-a doua jumătate a secolului al 20-lea a determinat evoluția să fie mai rapidă și mai puțin metodică decât ar putea sugera aritmetica selecției genetice. Însuși Darwin a considerat evoluția drept un proces inerent lent. Cei mai devotați neodarwiniști au împărtășit această părere, deoarece mutațiile genelor trebuie să apară și să fie evaluate pe rând.

Cursul evoluției dezvăluit de dovezile fosile s-a dovedit a fi nesigur, crud și deseori grăbit. Viața nu mai controla evenimentele în mod pașnic. Era posibil ca specii complet funcționale să dispară fără ca genele acestora să aibă vreo vină, datorită schimbărilor de mediu, iar specii care inițial păreau lipsite de perspective puteau profita de noi șanse pentru a prospera.

Perioadele și etapele geologice s-au distins de multă vreme prin apariția și dispariția fosilelor remarcabile. Acestea implică schimbări bruște și drastice ale formelor de viață și extincția iminentă a speciilor care predominau anterior. Identificarea extincțiilor în masă a fost o provocare pentru specialiști, mai ales când fizicienii au început să le coreleze cu impacturile cometelor sau asteroizilor. Atât timp cât a fost posibil, biologii au rezistat acestei intruziuni din spațiul extraterstru. Aceștia și-ar fi dorit că Pământul să fie o planetă izolată pe care selecția naturală să-și dea propriile verdicte în ceea ce privește dinozaurii sau alte creaturi considerate expirate din punct de vedere genetic.

La fel ca și cu extincțiile stau lucrurile și în cazul aparițiilor de noi specii. În anul 1972, Niles Eldredge și Stephen Jay Gould au concluzionat, pe baza dovezilor fosile, că evoluția s-a produs în salturi. Astfel, o specie poate rezista, fără a suferi schimbări majore, timp de un milion de ani, iar apoi poate dispărea brusc, fiind înlocuită de o nouă specie succesoare. Colegii de breaslă au combătut această concepție a lui Eldredge și Gould, deoarece era în dezacord cu imaginea evoluției darwiniene gradate.

Biologia moleculară a generat șocuri de mai multe tipuri. În 1968, Motoo Kimura de la Institutul Național de Genetică din Mishima, Japonia, a arătat că cea mai mare parte a evoluției la nivel molecular scapă pur și simplu atenției selecției naturale, deoarece aceasta implică mutații care nici nu aduc beneficii, însă nici nu sunt dăunătoare organismelor mutante. Colega lui Kimura, Tomoko Ohta, împreună cu Susumu Ohno de la Institutul de Cercetări Beckman din California au sprijinit ideea cu dovezi teoretice despre cum se acumulează genele neutre sau inactive într-o linie descendentă, fără a fi influențate de selecția naturală, și devin importante atunci când mediul se schimbă.

Deși Kimura a înțeles rolul selecției naturale, el a respins ideea că aceasta ar testa genele una câte una. În schimb, ea compară toate animalele care sunt produsul mai multor gene, fără a ține cont de modul în care genele individuale le-au alcătuit. Conform teoriei lui Kimura, majoritatea variantelor genetice se structurează într-o specie în mod aleator, și nu prin selecție naturală.

Alte studii moleculare realizate în anii 1960 au arătat că variantele genelor întâlnite la diferiți indivizi ai unei specii sunt mai numeroase decât ar fi fost de așteptat, în cazul în care selecția naturală ar promova în mod constant cele mai bune gene și le-ar elimina pe cele mai puțin bune. Richard Lewontin și Jack Hubby de la Chicago au comparat proteinele provenite de la indivizi diferiți din cadrul aceleiași specii, musculița de oțet. Ei au utilizat electroforeza, proces în care moleculele cu dimensiune mare se deplasează pe un traseu gelatinos, ca răspuns la aplicarea unui câmp electric. Deoarece erau aceleași proteine, îndeplinind aceleași funcții, era de așteptat ca acestea să se deplaseze cu viteze egale. În realitate, vitezele lor erau foarte diferite, implicând multe variații în genele responsabile cu prescrierea lor.

„Variația de la o muscă la alta este considerabilă”, a remarcat Lewontin în 1972. „Dacă am privi fiecare tip de molecule din care se compun aceste muște, am descoperi că aproximativ o treime din ele prezintă acest gen de variație. Acest fapt este determinat de către gene, deci se moștenește.” Harry Harris de la Londra a descoperit o variabilitate similară la oameni.

O altă problemă a apărut însă odată cu constatarea că genele se pot transfera între specii neînrudite. Aceasta este ingineria genetică a Mamei Natura, care în cele din urmă face uz de „foarfeci și lipici” moleculare deja existente în organismele vii, și este foarte frecvent întâlnită la bacterii. Nici în cazul plantelor și animalelor

această inginerie genetică nu lipsește cu desăvârșire, însă este mai puțin frecventă. Pe de altă parte, au avut loc schimbări interne drastice în materialul genetic al plantelor și al animalelor datorită transpozonilor¹ descoperiți de Barbara McClintock de la Laboratorul Cold Spring Harbor din New York.

În 1985, John Campbell de la UC Los Angeles a propus ideea existenței genelor de evoluție. Angajat al Institutului Pasteur în anii 1960, el a fost influențat de concepțiile nonconformiste franceze. El a considerat transpozonii, precum și alte posibilități de modificare a informației ereditare, drept mecanisme de „cârpeală” evoluționistă. În viziunea sa, anumite gene speciale pot să detecteze stresul provocat de mediu, și să declanșeze schimbări genetice la scară largă.

„Anumite structuri genetice nu adaptează organismul la mediu”, scria Campbell. „În schimb, acestea au evoluat pentru a promova și a direcționa procesul evoluției. Acestea funcționează în vederea creșterii capacității de evoluție a speciilor”. Neodarwiniștii au sfidat această teorie, însă cercetătorii mai aveau pentru ei o rezervă de șocuri, nu teoretice, ci bazate pe dovezi concrete.

● Evoluție fără mutație

În 1742, Carolus Linnaeus, cunoscut taxonomist al plantelor și animalelor, a întâlnit o plantă necunoscută, culeasă de către un student de pe una din insulele din arhipelagul Stockholm. Această plantă părea să reprezinte evoluția unei noi specii. Fiindcă lucrurile se petreceau cu mult înainte ca acest concept al lui Darwin, de evoluție, să devină acceptabil într-o țară creștină, Linnaeus a denumit planta „defectă” *Peloria*, însemnând „monstru” în limba greacă, deși aspectul ei era chiar plăcut.

Conform sistemului suedez de clasificare a plantelor în funcție de structura lor florală, această plantă trebuia să aparțină unei noi specii. Însă din orice alt punct de vedere planta se aseamăna cu *Linaria vulgaris*, linarița obișnuită. Singura diferență era că toate petalele ei arătau identic, în vreme ce petalele superioare și inferioare ale linariței aveau forme diferite. Totuși pentru Linnaeus modificarea era surprinzătoare: „fără îndoială, la fel de remarcabil ca și cazul unei vaci ce ar da naștere unui vițel cu cap de lup”.

În 1999, Enrico Coen și colegii săi de la Centrul John Innes din Marea Britanie au descoperit că diferența dintre *Linaria* și *Peloria* provenea dintr-o modificare ce afecta o singură genă, cycloidea, care controlează simetria florală. Această descoperire ar fi fost pe placul neodarwiniștilor implicați în cercetarea genelor, dacă nu ar fi apărut o bruscă modificare de situație. Când echipa de cercetători a

¹ Transpozonii sunt fragmente de ADN „săltărețe”, după cum au fost denumite de Barbara McClintock, „gene săltărețe” (jumping genes), deoarece au capacitatea de a se desprinde dintr-un cromozom și a se insera într-un alt loc, fie în același cromozom, fie pe o altă pereche de cromozomi. Pentru descoperirea transpozonilor, McClintock a primit Premiul Nobel pentru medicină în 1983 (n. red.).

căutat diferențele între codurile genetice ale celor două specii, au descoperit că nu există niciuna. În locul unei mutații genetice, gena din planta *Peloria* era marcată cu o etichetă chimică indicând faptul că aceasta nu trebuia citită.

„Este primul caz în care s-a descoperit că o modificare naturală de acest gen poate fi ereditară”, a afirmat Coen, „sugerând că o astfel de schimbare ar putea fi mai importantă pentru variația genetică naturală și pentru evoluție decât s-a crezut anterior”.

● Eșecul neodarwinismului

Succesorii lui Darwin de la începutul secolului al 20-lea s-au confruntat cu provocarea de a convinge lumea de existența procesului evoluției și de faptul că acesta se desfășoară pe o perioadă îndelungată de timp. Persoanele religioase respingeau teoriile evoluționiste deoarece erau în contradicție cu Biblia. În primul capitol al *Genezei*, Dumnezeu creează lumea și pe toți locuitorii ei în șase zile. O aritmetică minuțioasă ne arată că relatările biblice ulterioare se întind pe o perioadă de numai câteva mii de ani înainte de Hristos.

Darwin a primit critici și din partea unor fizicieni. Aceștia au calculat că Soarele nu ar fi putut străluci timp de sute de milioane de ani, cât ar fi fost necesar pentru ca scenariul lui Darwin să se împlinească. Alți fizicieni au sărit însă în sprijinul evoluționiștilor. Descoperirea radioactivității a indicat existența unor mecanisme necunoscute inițial, și care ar putea alimenta Soarele pe o perioadă îndelungată de timp.

De asemenea, radioactivitatea a furnizat o metodă de identificare a vechimii rocilor, cu ajutorul ratelor de dezintegrare ale diferitelor nuclee atomice. În 1902, Ernest Rutherford și Frederick Soddy de la Universitatea McGill din Montreal au stârnit vâlvă cu anunțul lor despre datarea unei bucăți de peblendă (oxid natural de uraniu) veche de 700 de milioane de ani. Controversa cu privire la scala timpului ar fi trebuit să ia sfârșit în acel moment, însă 100 de ani mai târziu, unii oameni încă mai purtau discuții aprinse pe tema celor șase zile ale creației.

Alți critici au acceptat această scală a timpului, însă nu au fost convinși de faptul că evoluția ar fi apărut din motive pur naturale, spre exemplu, prin selecție naturală. Astfel, a doua provocare pentru discipolii lui Darwin a fost să demonstreze că nu era necesară nicio intervenție miraculoasă. Dacă doreau ca biologia să fie considerată una dintre științele naturale, alături de fizică și de chimie, ei trebuiau să explice mecanismele evoluției suficient de clar încât să arate că Dumnezeu nu trebuia să sprijine permanent acest proces. Nici în această direcție neodarwiniștii nu au avut succes.

Profesorii, legislatorii și publicul larg din Europa și din cea mai mare parte a lumii s-au mulțumit să-i creadă pe cuvânt pe neodarwiniști, că în principiu evoluția era explicată. În Statele Unite însă, teoria lor nu a fost prea prietenos primită. Câteva state și districte americane au încercat chiar să interzică predarea

teoriei evoluționiste în școli, deoarece venea în contradicție cu religia. În anul 1968, Curtea Supremă a Statelor Unite a scos în afara legii astfel de interdicții. Acest fapt s-a repetat și în anul 1987, cu legile care impuneau o promovare echilibrată a evoluționismului și a creaționismului științific. Cu toate acestea, în anii 1999 și 2000, Centrul Național de Științe ale Educației înregistra 143 de controverse între adepții evoluționismului și cei ai creaționismului, în 34 de state americane.

Câțiva neodarwiniști au amplificat acest conflict, tratând problema evoluției, implicit sau explicit, ca pe o religie atee. Aceștia venerau o Mamă-natură benignă al cărei proces creativ de selecție naturală conducea în mod constant viața spre adaptări tot mai extraordinare. Richard Dawkins de la Oxford a afirmat despre știința sa neodarwinistă: „Aceasta se situează în aceeași nișă ecologică pe care o ocupă și religia, în sensul că răspunde la aceleași întrebări la care religia se consideră că a răspuns în secolele trecute”.

Într-o variantă mai slabă a acestei venerații a naturii specifice secolului al 20-lea, selecția a fost direcționată către apariția creaturilor inteligente, precum ființele umane. Date fiind sușurile și coborâșurile observate la dovezile fosile, aceasta poate fi acum desconsiderată ca fiind neverosimilă din punct de vedere tehnic. Într-o variantă mai tare, teoria evoluției nu numai că a supraviețuit în afara intervenției divine, ci a și demonstrat faptul că celelalte religii sunt false. Aceasta ar trebui să fie desconsiderată pentru că depășește domeniul științei.

Chiar și în sfera biologiei, neodarwiniștii au adoptat o postură autoritară pentru a-și susține viziunea lor extrem de simplificată asupra evoluției. Aceștia afirmă că selecția naturală reprezenta singurul mecanism important, iar a sugera contrariul însemna riscul de a fi acuzați de creaționism. Prin cartea sa *Gena egoistă* (*The Selfish Gene*) (1976) și printr-o serie de cărți pe înțelesul tuturor, Dawkins a devenit cel mai de seamă reprezentant al neodarwinismului. El a dus formula genelor și a selecției naturale la limita raționamentului elocvent, în strădania sa fără succes, de a explica toate miracolele vieții.

Selecția naturală gradată este bună pentru a justifica adaptările evoluționiste minore observate la populațiile vii – spre exemplu, rezistența la paraziți și la otrăvurile produse de om. Contrar titlului cărții sale, Darwin nu a explicat originea speciilor, în care diferențele dintre grupurile din cadrul unei populații devin atât de mari încât acestea nu se mai împerechează între ele. Succesorii lui Darwin au făcut progrese în secolul al 20-lea în această direcție, însă numai în unele situații simple, în care, spre exemplu, mici grupuri de indivizi izolați teritorial de rudele lor evoluează diferit.

Marile salturi evoluționiste, de genul celor care au transformat peștii în organisme aerobe, au rămas inexplicabile. Chiar și atacurile lui Hamilton referitoare la această problemă au fost, pentru el, ciudat de nesigure. În cazul în care selecția naturală ar fi un proces lent, de la genă la genă mutantă, cum s-ar putea elimina

eventualii intermediari nereușiți, care nu erau nici una, nici alta, nici cai, nici măgari? Acestora le-ar fi foarte greu să se împerecheze, cu atât mai puțin să supraviețuiască într-un mediu competitiv.

„Este decepționant faptul că în multe școli din Statele Unite doctrina creaționistă are aceeași pondere ca și teoria evoluționistă”, a comentat Susan Lindquist de la Chicago, în anul 2000. „Explicațiile plauzibile pentru ritmul uneori amețitor de rapid al evoluției ar putea ajuta la contracararea argumentelor potrivit cărora evoluția nu ar fi putut face ceea ce se susține că a făcut”.

Prin această afirmație Lindquist voia de fapt să spună că adevărata problemă în ceea ce privește creaționismul era de ordin tehnic. Principala teorie științifică a secolului al 20-lea nu a reușit să explice convingător etapele semnificative ale evoluției. Afirmațiile lui Lindquist răspundeau criticilor aduse de neodarwiniști descoperirii ei referitoare la modul în care aceste etape ar fi putut apărea prin dezvăluirea combinațiilor de gene latente.

● Darwin, ferește-te!

La sfârșitul secolului al 20-lea, exigentele procese de selecție științifică, în care supraviețuirea unor idei este condiționată de dovezile existente, au dat lovitura de grație ideilor înguste ale neodarwiniștilor. După cum a anticipat François Jacob, cea mai serioasă amenințare pentru teoriile evoluționiste a provenit de la studiile asupra dezvoltării.

Transformările genelor dintr-un ou fertilizat, într-un embrion și în cele din urmă într-un adult implică existența unor mecanisme de decizie care determină activitatea sau inactivitatea genelor și momentul de operare al acestora. Acestea sunt influențate de mediul de viață al organismului. Barierele conceptuale dintre gene, organisme și mediul lor, ridicate de către neodarwiniști cu trudă, au devenit șubrede din perspectiva acestor descoperiri.

În cartea sa *Logica viului (La Logique du Vivant)* (1970) Jacob a făcut o comparație între planul biologiei și păpușile rusești. Aflate una în interiorul celeilalte, aceste păpuși reprezintă diferitele niveluri de organizare și o modalitate diferită de a privi formarea ființelor vii. Fiecare dintre acestea se dezvăluie, nu printr-o simplă acumulare de observații, ci printr-o „nouă perspectivă asupra obiectelor, o transformare a însăși naturii cunoașterii”.

Comentând importanța ADN-ului în biologia secolului al 20-lea, Jacob scria: „Astăzi, lumea înseamnă mesaj, coduri și informație. Măine, ce altă cercetare ne va distruge obiectele, pentru a le reconstitui într-un nou spațiu? Ce altă păpușă rusească va mai apărea?”

Trăsăturile următoarei matrioșka au devenit vizibile la începutul secolului al 21-lea. Aceasta este împodobită cu proteine, dar și cu ADN. Așa cum prezisese Jacob cu câteva decenii în urmă, cu adevărat importante în procesul evoluției nu

sunt doar selecția și supraviețuirea genelor unei specii, ci și modalitățile de manifestare și de control ale acestora. S-au descoperit astfel mecanisme ideale pentru „cârpeala evoluționistă”, nu foarte îndepărtate de ideea genelor de evoluție imaginată de Campbell.

O serie de experimente realizate în timp record la Chicago între anii 1998–2002 au arătat că atunci când un organism este supus stresului în mediul său, câteva variații genetice neobservabile pot deveni simultan vizibile. Pe lângă coordonatoarea echipei, Susan Lindquist, alți cercetători importanți au fost Suzanne Rutherford, Heather True și Christine Queitsch. În acest context, un student comenta: „Darwin, ferește-te! Este apogeul mișcării feministe”.

Ca să fim corecți cu Charles Darwin, el nu avea de ce să-și ceară scuze. Selecția naturală îi diferențiază încă pe indivizii cei mai adaptați de cei mai puțin adaptați. Greșeala a fost a succesorilor săi, care au încercat să limiteze mecanismele evoluției la o interpretare particulară a modului în care aceasta se desfășoară, înaintând anevoios prin mutații în gene individuale.

Darwin a scris epitaful acestui darwinism genetic al minților înguste încă înainte de apariția lui. În ultima ediție a *Originii Speciilor*, în 1872, el remarcă: „Am așezat în cea mai vizibilă poziție – și anume la sfârșitul Introducerii – următoarele cuvinte: «Sunt absolut convins că selecția naturală este principala, însă nu unica modalitate de modificare». Aceasta se pare că n-a fost de folos. Căci mare este puterea înțelegerii eronate constante”.

- Pentru mai multe informații despre descoperirile lui Lindquist, vezi **MONȘTRII OPTIMIȘTI** și **PRIONII**. Cazuri de experimente rapide apar în dovezile fosile din **EXPLOZIA CAMBRIANĂ** și din **ORIGINILE UMANE**. Un mister profund cu privire la navigarea păsărilor apare în **CEASURILE BIOLOGICE**. Pentru mai multe detalii despre mecanismele evoluției, vezi **EVOLUȚIA MOLECULELOR**, **GENOMURI**, **CLONAREA**, **BOLILE PLANTELOR** și **ALTRUISMUL** și **AGRESIVITATEA**. Pentru o viziune de ansamblu asupra cursului evoluției, vezi **ARBORELE VIEȚII**. Perspectivele ecologice și de mediu asupra evoluției apar în capitolele **EXTINCȚIILE**, **BACTERIILE EXTREMOFILE**, **ENZIMELE GLOBALE**, **ALCOOLUL** și **EVOLUȚIA ECOLOGICĂ**.

EVOLUȚIA ECOLOGICĂ



Noi perspective asupra variabilității și supraviețuirii speciilor

CÂT DE ALBASTRĂ AR TREBUI SĂ FIE MAREA BALTICĂ? În anii 1940, marea aproape izolată din nordul Europei era faimoasă pentru apa sa limpede. Apoi a devenit tot mai întunecoasă, ca urmare a poluării provocate de om. Ecologii au ajuns să spună „Uite, Marea Baltică e pe moarte”.

În realitate, lucrurile erau exact pe dos. Opacitatea mării se datora prosperității neobișnuite a algelor, plantele microscopice care întrețin indirect peștii, scoicile, focile, delfinii și păsările de mare. La începutul secolului al 21-lea, efluenții din cele nouă țări care înconjoară Marea Baltică, în special apa provenită de la canalizare și din deversările agricole din Polonia au dublat cantitatea de nutrienți pentru alge. Heringii și midiile s-au înmulțit mai mult ca niciodată. Astfel, fără să-și dea seama, populația de pe țărmurile sale a transformat Marea Baltică într-o fermă piscicolă.

Au existat însă și urmări nefavorabile. Înflorirea algelor otrăvitoare era stimulată de apa suprafertilizată. Focile erau și ele vulnerabile. Codului și delfinilor nu le plăcea obscuritatea, și exista pericolul ca unele specii să plece sau chiar să moară, reducând biodiversitatea Mării Baltice. Și pe deasupra, moartea vulturilor de mare și infertilitatea focilor au fost dovezi clare ale efectului nefast al materialelor toxice, cum ar fi compușii PCB și DDT-ul, care au fost aduse parțial sub control abia după anii 1970.

Problema cantitate contra calitate a vieții din Marea Baltică poluată ilustra necesitatea unei noi abordări a ecologiei – din perspectiva interacțiunilor speciilor cu mediul lor fizic și chimic, precum și cu celelalte specii, inclusiv cu oamenii. Până recent, majoritatea cercetătorilor ecologi împărtășeau viziunea statică a conservatoriștilor despre lumea vie. Toate schimbările erau respinse. Treptat însă, oamenii de știință au început să realizeze că pădurile și alte ecosisteme sunt într-o schimbare continuă, chiar și fără intervenția omului. La fel stau lucrurile și cu schimbările climatice: ca dovadă, Marea Baltică era o întindere de gheață cu doar 10 000 de ani în urmă.

Influențele recente ale oamenilor asupra Mării Baltice trebuie să fie înțelese nu doar ca o insultă adusă Mamei Natura, ci ca o schimbare de mediu la care diver-

sele specii se vor adapta, mai mult sau mai puțin, la fel cum au făcut și strămoșii lor timp de miliarde de ani. În acest proces speciile însele se vor schimba puțin. Ele vor evolua pentru a se adapta noilor condiții de mediu.

Spre sfârșitul secolului al 20-lea, un simptom al noii atitudini științifice a fost corelarea ecologiei cu biologia evoluționistă, vizibilă în denumirile tot mai multor facultăți. Unele echipe universitare erau experte în biologia moleculară, despre care fondatorii ecologiei știau foarte puțin. Aceste tendințe dădeau speranțe că în secolul al 21-lea ecologia ar putea deveni, în sfârșit, o știință exactă. Atunci va putea juca un rol mai eficient în reducerea pagubelor produse mediului, precum și animalelor și plantelor sălbatice, de către om.

Jon Norberg de la Stockholm a fost unul dintre cei care au intenționat să reformuleze teoria ecologiei în termeni evoluționiști. El cunoștea foarte bine algele din Marea Baltică, zooplanctonul care se hrănea cu ele și peștii care se hrăneau cu zooplancton. Așa că a fost firesc pentru el să le dea drept exemplu care merită analizat. Pe când se afla la Princeton, a simulat pe calculator un sistem care cuprindea 100 de specii de alge expuse devastării sezoniere.

Comunitatea de alge prosperă mai mult, după cum indică masa ei totală, atunci când există variabilitate în cadrul fiecărei specii. Poate că nu v-ați așteptat la una ca asta, deoarece unii indivizi sunt intrinsec mai puțin productivi decât alții. Speciile cu cea mai mare variabilitate înving însă fiindcă se descurcă mai bine cu prada schimbătoare de la anotimp la anotimp.

În 2001, Norberg a publicat, împreună cu colegii americani și italieni de la Princeton, prima teorie matematică a unei comunități de specii în care speciile însele se pot schimba. O parte din aparatul matematic a fost împrumutat din teoriile evoluționiștilor referitoare la comportamentul diferitelor versiuni de gene într-o populație de plante sau animale. Concluzia este că, de la anotimp la anotimp, comunitățile de specii se adaptează condițiilor în permanentă schimbare.

Într-un ecosistem, ca și în evoluția pe termen lung, diversitatea indivizilor este importantă, căci ea conferă fiecărei specii adaptabilitate. Variabilitatea între indivizii aceleiași specii o face mai eficientă în găsirea unui rol în mediul înconjurător, dacă este nevoie chiar prin evoluția într-o direcție nouă. Pe de altă parte, un ansamblu de specii diferite îmbunătățește folosirea resurselor disponibile în ecosistemul lor.

Așa cum se întâmplă adesea, acești biologi au descoperit că Darwin făcuse același lucru înaintea lor. El declara, în 1859: „S-a dovedit experimental că dacă un lot de pământ e însămânțat cu câteva soiuri diferite de iarbă, va apărea un număr mai mare de plante și se poate recolta o mai mare cantitate de fân.”

Noua teorie matematică îi avertiza pe strategii politiciilor de mediu să nu se mulțumească doar cu faptul că un sistem cum e Marea Baltică pare să facă față poluării destul de bine. Dacă mediul se schimbă prea repede, unele specii nu reușesc să se adapteze destul de rapid. „Din punct de vedere biologic, aceasta

înseamnă că în comunitate are loc o tranziție bruscă de la unele specii la altele într-o perioadă foarte scurtă de timp”, au interpretat Norberg și colegii săi. „Acest fenomen merită mai multă atenție, deoarece schimbările globale care au loc ar putea duce la accelerarea schimbărilor din mediu.”

● Ecologie într-o eprubetă

Pașii ecologici și evoluționiști ai bacteriilor au fost verificați printr-o serie de experimente inițiate de Paul Rainey de la Oxford la sfârșitul anilor 1990. *Pseudomonas fluorescens* este o bacterie foarte adaptabilă. Ea se transformă pentru a se adapta condițiilor, pentru a produce efectiv specii diferite, ușor de deosebit cu ochiul liber. O săptămână din viața bacteriilor care cresc într-o supă nutritivă dintr-un vas de sticlă scund echivalează cu ani sau decenii de viață în ecosistemul cu mai multe specii al unui lac.

În masa de supă, bacteriile își mențin forma de bază, numită „netedă”. Fundul vasului de sticlă, care corespunde fundului lacului, va fi ocupat de o formă a bacteriei numită „distribuitori pufoși”. Suprafața supei, cea mai bine alimentată cu oxigen, devine gazda unui alt tip de *Pseudomonas fluorescens*, „distribuitorii striati” care creează straturi distincte de celuloză. Când cercetătorii de la Oxford au agitat continuu cultura, astfel încât bacteriile individuale să nu mai aibă nișe diferite, diversitatea tipurilor de bacterii a dispărut. Prin urmare, cea mai importantă cerință pentru existența biodiversității este varietatea habitatelor.

În experimentele mai avansate, cantități mici de bacterii cu forme fie striate, fie pufoase, au fost puse în competiție cu forma netedă predominantă. În cinci cazuri din șase, intrusul a concurat cu succes cu forma dominantă și s-a impus destul de bine. Într-unul dintre primele rapoarte asupra acestui experiment, Rainey și Michael Travisano au pus accentul pe aspectul evolutiv al evenimentelor din microcosmosul ecologic creat de ei.

Ei le-au comparat cu răspândirea speciilor nou-apărute în habitatele recent create. „Forța motrice a acestei răspândiri a fost competiția”, scriau ei. „Putem atribui evoluția și proliferarea noilor specii în mod direct mutației și selecției naturale.”

În cercetări ulterioare, ecologii de la Universitatea McGill din Montreal s-au alăturat grupului lui Rainey pentru a testa alte ipoteze teoretice referitoare la factorii care guvernează diversitatea speciilor. Experimentele făcute cu cantități din ce în ce mai mari de substanțe nutritive în supa de bacterii au arătat, după cum era de așteptat, că diversitatea atinge apogeul la un nivel mediu din întreaga masă de bacterii. Cu prea mulți nutrienți, numărul tipurilor de *Pseudomonas fluorescens* s-a redus în final. Aceasta s-a produs deoarece beneficiile hranei abundente nu sunt aceleași în toate nișele, și prin urmare tipul de bacterie care se afla în nișa cea mai avantajată le „biruia” pe celelalte.

Și perturbarea ocazională a unei culturi, prin eliminarea ei aproape în întregime și plasarea supraviețuitorilor într-o nouă supă, încuraja diversitatea. Acest

rezultat era în acord cu „ipoteza perturbării medii”, propusă cu un sfert de secol mai devreme pentru a explica diversitatea speciilor descoperite printre florile sălbatice din Anglia, în pădurile tropicale și în jurul recifurilor de coral. Perturbările ocazionale ale ecosistemului dau ocazia speciilor rare, altfel umbrite de cele mai comune, să iasă în față.

„Nu e ceva impresionant să privești sistemele din laborator – mici eprubete de sticlă pline cu un lichid tulbure”, comenta Graham Bell de la McGill despre aceste experimente canadiano-britanice cu bacterii. „Totuși, doar creând aceste microcosmosuri vom putea construi o bază solidă pentru a înțelege tabloul mult mai amplu și mai bogat al biodiversității existente în comunitățile naturale.”

● Biodiversitatea genelor

Simpla enumerare a speciilor și a exemplarelor supraviețuitoare ale acestora constituie doar o indicație sumară asupra perspectivelor lor. Capacitatea de supraviețuire, de adaptare și de evoluție este reprezentată în versiunile diferite de gene din cadrul fiecărei specii. Moleculele eredității stau la baza biodiversității.

Genetica moleculară, prin descifrarea și compararea genelor înscrise în ADN, dă un nou indiciu ecologilor. Conform cercetătorilor William Martin de la Universitatea Heinrich Heine din Düsseldorf și Francesco Salamini de la Institutul de Cercetare pentru Cultura Plantelor Max Planck din Köln, chiar și o comunitate de plante, animale și microbi care pare săracă în specii poate avea o diversitate genetică mult mai mare decât am putea crede.

Martin și Salamini au propus un *Gedankenexperiment* – experiment virtual – pentru a ne ajuta să înțelegem viața dintr-o nouă perspectivă. Să ne imaginăm că putem realiza o analiză genetică completă a fiecărui organism individual, a fiecărei populații sau comunități vii de pe Pământ. Vom putea astfel observa asemănările și variațiile genelor care generează diferențierea la toate nivelurile, între indivizi, între subspecii și între specii.

Cu ajutorul unui computer gigantic, devine posibilă asocierea genelor și a frecvențelor lor cu structurile populațiilor, cu geografia, clima și istoria habitatelor, cu ratele evoluționiste de schimbare și cu influențele umane. Astfel obținem cea mai extinsă imagine posibilă asupra trecutului biologic, a conservării sale în organisme existente și a evoluției curente, până la diferențele dintre frați și surori. Putem acum redefini speciile, aflând diferențele genetice asociate cu formele, trăsăturile și alte caracteristici pe care biologii experimentaliști le folosesc pentru a distinge o plantă, un animal sau un microb de un alt exemplar al aceleiași specii.

Din punct de vedere tehnic, acest scenariu este deocamdată imposibil. Totuși, Martin și Salamini au afirmat că principiile corecte de selecție și analizatorii ADN automatizați ar putea da startul schițării geneticii ecosistemelor selecționate. Aceste tehnici s-ar putea folosi și în cazul plantelor și animalelor pe cale de

dispariție, pentru a identifica genele în pericol. Cei doi cercetători au identificat deja, într-o măsură mică dar semnificativă, la soiurile sălbatice ale plantelor de cultură, gene care rămân nefolosite în soiurile domesticate.

„Proporțiile diferențierii genetice în cadrul și între specii dețin cheia înțelegerii modului în care Natura a generat și a menținut diversitatea biologică”, au concluzionat Martin și Salamini într-un manifest pentru științele naturii din secolul al 21-lea. „Dar dacă nu există biologi experimentalisti care să cunoască flora și fauna, geneticienii nu vor avea material pe care să lucreze, și nici nu vor cunoaște biologia organismelor pe care le studiază. În acest sens, există o predispoziție naturală către o simbioză între genetică și biodiversitate – o unificare pe care progresul actual al tehnologiei ADN o impune.”

- Pentru mai multe teorii și descoperiri despre diversitatea genetică și supraviețuire, vezi **BOLILE PLANTELOR** și **CLONAREA**. Pentru alte păreri despre evoluția științei ecologice, vezi **BIODIVERSITATEA**, **BIOSFERA DIN SPAȚIU** și **PRĂDĂTORII**. Pentru o perspectivă moleculară pe termen lung asupra ecologiei și a evoluției, vezi **ENZIMELE GLOBALE**.

EVOLUȚIA MOLECULELOR



Reabilitarea ereticilor japonezi

- SCURTĂ CĂLĂTORIE cu trenul de mare viteză Shinkansen la sud-vest de Tokyo vă duce la Mishima, la poalele muntelui Fuji. Cel mai bine ar fi să mergeți în luna aprilie, când înfloresc cele 260 de specii de cireș cultivate de cercetătorii Institutului Național de Genetică. Dorind să prezinte o nouă perspectivă asupra evoluției vieții, în 1973, geneticianul Motoo Kimura s-a referit la un iaz plin cu crap magnifici, și la sângele care circulă prin corpurile lor și prin al său.

„Și crapii și eu avem nevoie ca hemoglobina să transporte oxigenul în tot corpul”, a spus el. „Totuși, jumătate dintre unitățile chimice din moleculele mele de hemoglobină sunt diferite de cele ale crapului. Acest gen de evoluție care nu este necesară și studiile mele asupra ritmului și schemei sale, îmi sugerează că selecția naturală nu a avut niciun motiv să prefere un tip de molecule celuilalt.”

Kimura a lansat teoria sa neutralistă a evoluției moleculare în 1968. Știința nou apărută, biologia moleculară, evidențiază variațiile genelor similare din specii diferite și variațiile proteinelor codificate de acestea. Aceste variații nu sunt în concordanță cu predicțiile selecției naturale, mecanismul de evoluție preferat al lui Charles Darwin.

Din perspectiva selecției naturale, exemplarele care sunt bine adaptate mediilor lor vor avea mai mulți urmași supraviețuitori decât cele care nu sunt așa de bine adaptate. În termeni moleculari, aceasta înseamnă că genele bune vor prospera, iar genele rele vor dispărea. Un astfel de proces există fără îndoială și ajută pentru a explica modul în care Mama Natură ghidează evoluția și perfecționează minunatele creaturi care populează planeta. Dar, după cum și-a dat seama Kimura, aceasta nu este totul.

Încă din 1931, Sewall Wright de la Chicago a atras atenția asupra faptului că uneori evoluția este un proces aleator. Într-o populație de microbi, plante sau animale, anumite variante de gene se răspândesc sau dispar pur și simplu din întâmplare. Wright a numit acest fenomen „echilibru instabil”, dar astăzi se preferă expresia „derivă genetică”. În 1954, Wright s-a retras la Madison, în Wisconsin. Kimura l-a întâlnit în timp ce studia acolo.

În populațiile mici, numite de evoluționiști „bottleneck”, schimbările produse de deriva genetică pot fi spectaculoase. De exemplu, în lanțul de insule al arhipelagului Hawaii, multe plante și animale nemaiîntâlnite au apărut în ultimele câteva milioane de ani din strămoși singuratici ce au fost aduși de vânt sau de apă pe terenul vulcanic virgin. Câteva drosofile hoinărind de la o insulă la alta sau de la o vale la alta au fost bunicile a aproape 700 de specii.

Kimura a mers mai departe decât Wright și a stabilit cum iau naștere în primul rând variantele de gene. Ele apar prin mutații care modifică codul genetic. De obicei, mutațiile sunt dăunătoare și selecția naturală le înlătură. Uneori câte o mutație este benefică. Cu puțin noroc supraviețuiește și selecția naturală o favorizează. Însă principalul efect al selecției naturale este conservarea – eliminarea indivizilor care se îndepărtează prea mult de normal în cadrul speciei.

Majoritatea mutațiilor care supraviețuiesc nu sunt nici benefice, nici deosebit de dăunătoare. Ele sunt neutre sau aproape neutre, iar selecția naturală nu are nimic de spus în privința lor. Noile variante de gene supraviețuiesc sau dispar din pură întâmplare. Prin urmare, evoluția se desfășoară în cea mai mare parte pe nevăzute și la voia întâmplării la nivel molecular, în cadrul setului de gene sau genomul fiecărei specii. Într-adevăr, savanții de astăzi folosesc diferențele moleculare, cum ar fi cele dintre hemoglobina crapului și cea umană, pentru a reconstitui arborele vieții.

„Deși asemenea procese aleatoare sunt lente și nesemnificative pentru scurta noastră existență, din perspectiva timpului geologic ele devin colosale”, scria Kimura. „Astfel, timpul lasă urme în toate genomurile planetei. Aceasta sporește măreția perspectivei noastre asupra evoluției biologice.”

● „Nu trebuie să vă placă ideea”

Viziunea lui Kimura era diametral opusă celei a principalilor evoluționiști ai așa-numitei școli neodarwiniste, care considerau că selecția naturală ar fi singurul mecanism important prin care au evoluat genele. Un reporter care a călătorit din Mishima la Chicago, în 1972, a fost întâmpinat la UC Davis ca și când ar fi venit din iad unde vorbise cu diavolul. Theodosius Dobzhansky, o somitate a biologiei evolutive, era îngrozit de faptul că opinia publică ar putea fi contaminată de afirmațiile infame ale lui Kimura.

Un reporter poate să nu ia în seamă o asemenea opoziție și chiar poate considera furia ca un semn că ceva nou și important este pe cale să apară, deși pot să treacă zeci de ani până când semnificația acestui fapt să devină clară. Kimura însă a purtat bătălia până la sfârșitul vieții sale, în 1994. Iar teoria sa nu putea fi ignorată la nesfârșit deoarece ea era riguroasă matematic și oferea predicții testabile, la fel ca o teorie din domeniul fizicii. De asemenea, furniza repere pentru a măsura, în fiecare situație, cât din evoluție se datorează șanseii și cât selecției naturale. De obicei este câte un pic din fiecare.

„Puțini specialiști în biologia evolutivă ar nega că această teorie este una dintre cele mai interesante și mai puternice anexe la explicația evolutivă de la formularea ipotezei selecției naturale de către Darwin”, afirma Stephen Jay Gould, paleontolog la Harvard. „Nu trebuie să vă placă ideea, dar cum este posibil să o ignorați?”

Teoria trebuia extinsă pentru a se putea stabili importanța ei în cursul evoluției. Criticii lui Kimura puteau să susțină, și au susținut, că nu contează faptul că mutațiile neutre sunt des întâlnite. Dacă sunt neutre, sunt prin definiție neimportante și, prin urmare, nu au niciun rol în adaptarea speciilor la mediu, care este scopul evoluției.

Kimura s-a mulțumit să riposteze că mutațiile care sunt neutre astăzi ar putea să fie folositoare mâine, odată cu modificarea mediului. El s-a referit, în mod aprobator, la efortul unui reporter de a sublinia o altă posibilă implicație. „Dacă schimbările neînsemnate se pot acumula într-o moleculă timp de milioane de ani, fără intervenția selecției naturale, într-o zi s-ar putea ca o moleculă particulară astfel rezultată să sufere încă o mutație care îi conferă dintr-o dată o nouă semnificație – exact cum, la jocul de pocher, schimbarea unei cărți poate modifica o mână de cinci cărți fără nicio valoare într-o cvintă regală.”

Deși explică potențialul evolutiv latent al genelor neutre, analogia cu jocul de pocher nu ilustrează întocmai mecanismul. Mult mai importante decât schimbul final de cărți între genele active sunt modificările mecanismelor de control care determină care gene să fie active. În felul acesta ajungem să ne întrebăm de unde apar genele noi.

● Acordurile vechi ale muzicii genelor

Un alt genetician japonez contemporan cu Kimura, Susumu Ohno, era stabilit în California și lucra în cadrul Institutului de Cercetare Beckman. În 1970, el a presupus că cele mai multe gene, dacă nu chiar toate, au apărut prin duplicarea unor gene preexistente. Fenomenul des întâlnit al copiilor de rezervă ale genelor este binecunoscut. Unele organisme au seturi duble sau multiple de cromozomi, fiecare conținând toate genele.

Ohno a subliniat că dacă o copie a unei gene îndeplinește funcția ce îi este specifică, copiile de rezervă sunt libere să evolueze în multe alte moduri, ca gene neutre. Ele pot în cele din urmă să dea naștere unor gene care codifică producerea unor proteine complet noi. Acestea ar putea sau nu să fie de folos organismelor viitoare.

Genele transpuse pe note muzicale făceau parte din instrumentarul lui Ohno. El a preluat ideea de la Kenshi Hayashi și Nobuo Munakata de la Centrul Național pentru studiul și prevenirea cancerului din Tokyo, care au anunțat, în 1984, că au convertit secvențele subunităților din materialul genetic ADN în note muzicale corespondente. Ascultându-le, era mai ușor să-ți amintești și să recunoști secvențele codului genetic. Ajutat de soția sa Midori, Ohno a creat compoziții muzicale care păreau compuse de muzicieni profesioniști. Unii ascultători au spus că muzica genei receptorului insulic era de-a dreptul emoționantă.

Această tehnică muzicală l-a ajutat pe Ohno să identifice secvențe repetitive care au relevat originea comună a genelor. Multe dintre acorduri erau foarte vechi. Studiul său l-a condus în cele din urmă la concluzii despre evenimente evolutive care au avut loc cu peste 500 de milioane de ani în urmă când, în timpul exploziei cambriene, prezența animalelor se face brusc remarcată în dovezile fosile.

Sunt reprezentați strămoși ai tuturor categoriilor fundamental diferite de animale, sau încrengături, de la cei mai simpli viermi la moluște și până la animalele vertebrate. Totuși, după părerea lui Ohno, toate aveau în esență același set de gene sau genom. Utilizând pur și simplu în moduri diferite genele, ei au reușit să se diversifice în doar 10 milioane de ani.

„Explozia cambriană este mult mai reală decât s-a crezut inițial”, a declarat Ohno în 1996. „În evoluție, 10 milioane de ani sunt ca o clipire din pleoape. Prin urmare, consider că toate încrengăturile de animale din timpul perioadei cambriene erau înzestrate cu un genom aproape identic, care este definit drept genomul Pan-animalia.”

În anul următor, ipoteza lui Ohno despre duplicarea genelor a fost admirabil susținută de prima descifrare a genomului drojdiei de bere. Hans-Werner Mewes și colaboratorii săi de la Institutul de Biochimie Max Planck din Germania au numărat 53 de regiuni conținând duplicate reunite în fascicule. „Numărul însemnat de gene duplicate din drojdie reflectă cu siguranță o strategie evolutivă de succes”, au afirmat ei. „Duplicarea genelor permite modificări evolutive în una dintre copii, fără să perturbe în vreun fel funcțiile vitale ale celeilalte.”

● O reconciliere forțată

Întorcându-ne printre cireșii de la Mishima, cea mai apropiată colegă a lui Kimura, Tomoko Ohta, și-a asumat o misiune de pionierat și anume cea de inițiatore a matematicii genetice necesare pentru a face față consecințelor din viața reală ale evoluției moleculare, și a rolului pe termen lung al genelor neutre. Teoria „aproape neutră”, conform căreia genele puțin dăunătoare pot supraviețui în cadrul unor populații mici, se afla în centrul preocupărilor sale. Prima aplicație a teoriei a fost explicarea regularității ceasului molecular.

Rata modificării subunităților dintr-o genă la scara timpului evolutiv este, în mod remarcabil, constantă, indiferent de organismul căruia îi aparține. Ne-am putea aștepta ca rata modificării să depindă de numărul de generații ale unei specii într-un interval de timp dat. Însă, așa cum a explicat Ohta, speciile ai căror indivizi trăiesc mult timp au, de asemenea, populații mici în care se pot acumula genele aproape neutre.

Ohta a continuat integrând în teoria sa matematică rolul duplicării genelor în crearea unor noi resurse pentru evoluția moleculară neutră și aproape neutră. Apărea atunci întrebarea: cum puteau genele astfel create să devină în cele din urmă active, pentru a fi testate prin selecția naturală? Ohta a găsit o mulțime de dovezi în familiile de gene actuale, care confirmă că atât deriva neutră, cât și selecția naturală pozitivă au contribuit la aceasta.

Activitatea genelor care codifică proteinele este controlată de genele reglatoare, care le activează sau le dezactivează. Arthur Koch de la Indiana-Bloomington a subliniat, în 1972, că e de preferat ca o genă duplicată să fie inactivă în timpul evoluției moleculare, deși poate fi reactivată mai târziu. Unul dintre rolurile genelor reglatoare este să mențină inactive unele gene, pe parcursul întregii vieți a organismului – inclusiv genele duplicate care ar putea dezvolta o nouă funcție.

Acești reglatori au, de asemenea, un rol esențial în formarea plantelor și animalelor în timpul dezvoltării din embrionii lor, astfel încât orice modificare poate avea un efect drastic asupra formei creaturilor și organizării corpurilor lor – cum s-a petrecut, de exemplu, în timpul exploziei cambriene. Ohta și-a extins teoria incluzând faptul că și genele reglatoare evoluează cu ajutorul duplicării genelor.

Această femeie foarte politicoasă era câteodată exasperată de eminenții evoluționiști occidentali care îi tratau munca cu dispreț. Ea scria în 1984: „Progresul biologiei moleculare a revoluționat multe domenii ale biologiei. Teoria evoluției și genetica populațiilor n-ar trebui să fie o excepție; totuși, în multe discuții despre evoluție nu se acordă atenție noilor descoperiri asupra structurii genelor.”

La sfârșitul secolului, experimentele cu drosofile și drojdii dezvăluiau modificări în dezvoltarea organismelor supuse stresului. Acestea puteau fi cel mai bine

explicate prin activarea unor gene anterior inactive și, prin urmare, neutre. Reabilitarea ereticilor japonezi era completă.

În pofida ostilităților pe care le-a înfruntat toată viața, Ohta a văzut cum alți teoreticieni au fost în cele din urmă determinați să renunțe la încrederea simplistă în selecția naturală, și să se îndrepte spre o reconciliere a teoriilor ei preferate: neutralistă, aproape neutralistă și selecționistă. „În anii ce vor urma,” a prezis ea, „îmbinarea analizelor experimentale și teoretice ale diferitelor familii de gene va deveni un proiect de cercetare fascinant.”

- Pentru o confirmare recentă a faptului că genele neutre sunt un factor-cheie al evoluției, vezi **MONȘTRII OPTIMIȘTI**. Pentru o prezentare a ideilor într-un context mai larg, vezi **EVOLUȚIA ȘI ARBORELE VIEȚII**. Pentru mai multe detalii referitoare la timpurile Pan-animale, vezi **EXPLOZIA CAMBRIANĂ**.

EXPLOZIA CAMBRIANĂ

Cum au apărut și cum au dispărut apoi unele dintre primele animale

E INDICAT SĂ FII ÎN FORMĂ dacă vrei să pleci într-o excursie organizată la cariera Walcott de la Burgess Shale, și să fii pregătit pentru călduri foarte mari sau pentru furtuni de zăpadă. Cu toate că a fost odinioară fundul unei mări, acum cel mai important sit fosilifer din lume se află la o altitudine de 2 345 de metri, în Munții Stâncoși din provincia canadiană Columbia Britanică. De pe Fossil Ridge se deschide o priveliște minunată asupra lacului Emerald, străjuit de munți cu vârfuri înzăpezite.

Calea ferată Canadian Pacific ce străbate regiunea are stația cea mai apropiată de situl fosilifer în Field. În 1886, un tâmplar care lucra la calea ferată a găsit pe un versant al muntelui niște gândaci pietrificați. Aceștia erau trilobiți, creaturi ovale asemănătoare gândacilor, care trăiseră pe fundul mării, o specie demult dispărută. Sunt adeseori cele mai bine conservate fosile ale primelor animale apărute, aceasta datorându-se numărului lor mare și carapacei rezistente.

Curând după aceea, mostrele adunate de un geolog au fost văzute de Charles Walcott de la US Geological Survey. Curiozitatea lui s-a trezit într-o asemenea măsură încât, atunci când a devenit secretar al Institutului Smithsonian din

Washington, a ales stația Field drept destinație a primei sale activități de teren, în anul 1907, și a vizitat sursa originală de trilobiți de pe Mount Stephen. Doi ani mai târziu pe Fossil Ridge, aflată între alți munți, Walcott a descoperit din întâmplare fosilele uimitoare de la Burgess Shale. În anul următor el a început săpăturile la cariera care astăzi îi poartă numele. Și-a continuat vizitele până în 1924 și a adunat în total 65 000 de fosile.

Acumularea lor accidentală, în condiții anaerobe, sub alunecările masive de teren ce s-au produs pe neașteptate, a făcut din Burgess Shale o zonă bogată în rămășițele unor animale cu corp moale care în mod obișnuit nu se păstrează sub formă de fosile. Prin urmare, situl canadian este sursa cea mai mare de rămășițe animale din perioada cambriană. Aceasta a fost perioada când animalele au apărut pentru prima oară în număr mare pe Pământ.

În rocile precambriene din straturile din Australia, Rusia, Namibia, Newfoundland (sau Terra Nova) s-a păstrat un număr mic de animale cu corpuri moi, datate cu puțin înainte de marea tranziție. Perioada de la începutul cambrianului (cu 542 de milioane de ani în urmă) până în prezent este numită eonul fanerozoic sau eonul vieții vizibile. Așadar, explozia noilor forme de viață animală în perioada cambriană a fost un moment de răscruce în istoria planetei, iar oamenii de știință doresc să afle cât mai mult posibil despre aceasta.

Burgess Shale oferă instantanee ale unei vieți animale în plină desfășurare pe fundul mării, cu aproximativ 505 de milioane de ani în urmă, când ecourile „exploziei cambriene” erau încă detectabile. Vânătorii de fosile descoperă reprezentanți ai tuturor încrengăturilor regnului animal cunoscute și în prezent, având planul corpului caracteristic artropodelor, brahiopodelor și așa mai departe. Niște viermi ce par insignifianți reprezintă încrengătura noastră, a cordatelor. Printre animalele de la Burgess Shale sunt reprezentate și viețuitoare cu forme neobișnuite, care nu au avut urmași pe termen lung.

Conform zicalei „cum au venit așa s-au dus”, Mama Natură fusese fără îndoială dornică să încerce toate posibilitățile de a crea animale cu diverse structuri, și de a le lăsa pe multe dintre ele să dispară. Unele specimene au fost considerate atât de bizare încât s-a crezut că reprezentau încrengături necunoscute de oamenii de știință până în acel moment. Această evaluare, care astăzi pare îndoielnică, a fost făcută după ce Institutul Geologic al Canadei a redeschis carierele de la Burgess Shale în anii 1966-1967, în urma intervenției paleontologului britanic Harry Whittington.

● Creaturi nebune

„Începi cu o grămadă de fragmente foarte deformate și amestecate și ajungi la montajul imaginii unui posibil organism viu”, a scris ulterior Stephen Jay Gould de la Harvard, descriind talentul de care au dat dovadă Whittington și colegii săi de la Cambridge în reconstituirea fosilelor de la Burgess. „Această acțiune necesită un geniu vizual, sau spațial, de un tip neobișnuit și foarte precis”.

Simon Conway Morris, studentul lui Whittington, a dat numele de *Hallucigenia* unui animal cu o înfățișare cu totul nemaîntâlnită, reconstituit din resturile fosile. Corpul lung și slab al acestuia părea să fie susținut de șapte perechi de picioroainge. Pe spate avea tentacule asemănătoare unui șir de cratere vulcanice, unele cu mici dinți la capăt pentru a apuca hrana. Forma specifică a corpului său îi confera *Hallucigeniei* statutul de nouă încrengătură în cadrul regnului animal, neavând nici cea mai mică asemănare cu vreun alt animal dispărut sau nu.

Alte creaturi erau mai puțin nesăbuite în abaterea lor de la planurile corpurilor cunoscute, însă în 20 de ani de efort, experții au identificat aproximativ o duzină de grupuri complet noi. S-a spus că explozia cambriană era chiar mult mai uluitoare decât ne-am fi așteptat. Conway Morris a afirmat că grupurile anterioare necunoscute depășesc din punct de vedere numeric grupurile care s-au menținut până în prezent.

Aparentele ciudățenii nu puteau fi considerate monștri. Forma specifică a corpului lor, considera el, le-a conferit un statut echivalent, din punct de vedere al posibilei semnificații, cu cel al artropodelor, brahiopodelor și cordatelor. Pentru a scoate în evidență acest fapt, el și-a imaginat întregul personal al Muzeului de Istorie Naturală din Londra vizitând, cu ajutorul unei mașini a timpului, fundul mării cambriene.

„Călătorii noștri ipotetici”, scria Conway Morris, „nu vor avea nicio modalitate de a prezice care grupuri sunt destinate succesului și care eșecului urmat de extincție. Dacă ar fi să se reia explozia cambriană, cred că este foarte probabil ca același număr de planuri ale corpului să apară din această radiație principală. Totuși este foarte puțin probabil să apară aceleași încrengături”.

În 1989, Stephen Jay Gould proclama în cartea sa, *O viață minunată (Wonderful Life)*, răsturnarea prejudecăților evoluționiste de către oamenii de știință de la Cambridge care studiaseră fosilele de la Burgess. Pe scurt: Walcott s-a înșelat încercând să înscrie toate descoperirile sale în liniile de descendență cunoscute, în acord cu perspectiva din vremea sa. Încrengăturile dispărute au confirmat faptul că șansele favorabile stabilesc cursul evoluției, și nu superioritatea predictibilă a unei forme de viață față de o alta.

În prefața cărții sale, Gould i-a adresat mulțumiri lui Desmond Collins de la Muzeul Regal Ontario din Toronto, care se afla în tabăra așezată la cariera Walcott când Gould a vizitat locul, în 1987. „Activitatea lui va extinde și va modifica mai multe capitole ale lucrării mele, înnoirea teoriilor învechite fiind de dorit, ca nu cumva știința să stagneze și să moară”. Dorința lui Gould avea să fie împlinită în doar câțiva ani.

În 1984, Hou Xianguang de la Academia de Științe din China, a descoperit o altă comoară pentru vânătorii de fosile, lângă Chenjiang, în provincia Yunnan din sud-vestul Chinei. „Am fost atât de bucuros încât nici n-am putut dormi”, își amintește Hou ziua primei sale descoperiri. „Mă trezeam des și scoteam fosilele doar pentru a le privi”.

Fosilele animalelor cu corpuri moi îngropate în Muntele Moatian de la Chenjiang sunt cu 15–20 de milioane de ani mai vechi decât cele de la Burgess. Cu toate acestea, numeroase încrengături apăruseră deja. Aceasta însemna că evoluția și diversificarea lor se petrecuse mult mai rapid decât s-ar fi crezut, judecând după fosilele de la Burgess. Pe de altă parte, printre fosilele de la Chenjiang se aflau și rude ale *Hallucigeniei*, care au demonstrat că Simon Conway Morris reconstituise animalul cu susul în jos. Ceea ce el a considerat drept picioroange, erau de fapt spini de apărare, iar tentaculele reprezentau picioarele.

Alte corecturi au fost făcute de Collins, care a condus numeroase expediții la Burgess Shale începând cu anul 1975. El a deschis o duzină de situri noi și a adunat o colecție de fosile care a depășit până și imensa captură a lui Walcott. În 1996, în urma unor observații mai precise cu privire la cele mai mari animale de la Burgess, denumite *Anomalocaris*, Collins a putut să combată teoria conform căreia acestea reprezentau o nouă încrengătură. El a reclasificat aceste viețuitoare ca fiind o nouă clasă a artropodelor, și deci înrudită cu cea a omniprezenților trilobiți.

„Cu acest exemplu”, a remarcat Collins, „devine evident că majoritatea formelor neclasificabile de la Burgess Shale aparțin mai degrabă unor clase dispărute dintr-o încrengătură existentă în prezent, decât unei încrengături dispărute”.

Dacă așa stau lucrurile, Conway Morris și Gould au exagerat diversitatea vieții de pe fundul mării cambriene, la cel mai de bază nivel al clasificării taxonomice. Acest fapt prezintă importanță numai pentru specialiști. Indiferent că sunt încrengături sau clase, numeroase forme de viață neobișnuite au apărut în istoria timpurie a regnului animal și au dispărut mai târziu.

Explozia cambriană, ilustrată atât de sugestiv în Yunnan și în Columbia Britanică, capătă un alt înțeles, în lumina descoperirilor recente realizate în laborator cu privire la mecanismele evolutive la nivel molecular. Acestea permit experimentelor naturale cu planurile corpurilor să se desfășoare mult mai rapid decât presupuseseră teoriile anterioare.

● Viermi și gheață

Cum se explică extraordinara explozie a evoluției de acum 540 de milioane de ani, ce a avut loc odată cu apariția animalelor vizibile? Unii experți s-au mulțumit să creadă că noutatea absolută a animalelor constituia cheia succesului lor. Cu noi modalități de a-și câștiga existența, cu puțini concurenți sau prădători, animalele au erupt într-un vacuum ecologic.

James Valentine de la UC Davis a căutat mai degrabă invenții-cheie la strămoșii precambrieni ai animalelor. Aceștia erau viermi care trăiau pe fundul mării și care experimentau diverse planuri ale corpului. Un corp segmentat ca cel al unei râme, cu organe care se repetă, a dat naștere corpurilor formate din segmente ale artropodelor, ce au devenit binecunoscute la trilobiții dispăruți și la insectele care

au supraviețuit. Un corp nesegmentat, cu organe care se repetă, a dat naștere corpurilor moluștelor. O coroană de tentacule tubulare îi împodobeau pe strămoșii noștri viermii, care au dat naștere echinodermelor și vertebratelor.

În 1972, după confirmarea derivei continentelor, Valentine a sugerat că aceste inovații evolutive erau conexe cu existența și cu divizarea ulterioară a unui supercontinent. Viermii aveau avantajul de a scormoni, în căutarea hranei, mărul de pe fundul mării, depus de-a lungul multor ani. Acest fapt i-a făcut relativ imuni la schimbările anotimpurilor și la cele climatice, ce erau agravate probabil de geografia în continuă schimbare și care determinau înfometarea altor creaturi.

La sfârșitul secolului al 20-lea, Valentine, aflat la UC Berkeley, era din ce în ce mai convins de faptul că viermii au aprins fitilul exploziei evolutive ce a fost observată la Burgess Shale. El a putut remarca tot mai multe urme fosile de tipul galeriilor de hrănire, mai mari și mai elaborate, datând de la începutul perioadei cambriene. Iar progresele geneticii și embriologiei i-au permis să prelucreze ipoteza sa despre evoluția viermilor în termenii schimbărilor din genele care controlează planul corpului în cazul unui animal care se dezvoltă dintr-un ou. Valentine și colegii săi au remarcat: „Este foarte probabil ca o mare parte din remodelarea genomică să fi avut loc timpuriu în perioada cambriană, implicând atât gene de control-cheie cât și gene reglatoare-cheie, pe măsură ce se dezvoltau noile planuri ale corpurilor”.

Tot mai mulți oameni de știință începeau să creadă că planeta și viețuitoarele sale au trecut printr-un eveniment climatic extraordinar la sfârșitul perioadei precambriene. Conform ipotezei „Bulgărelui de zăpadă”, denumită astfel de către Joseph Kirschvink de la Caltech, în 1992, până și oceanele ecuatoriale au fost acoperite de gheață. În 1998, Paul Hofmann de la Harvard și colegii săi au oferit noi dovezi, descoperite în Namibia, în favoarea unui astfel de eveniment al cărui scenariu și ai cărui timpi de desfășurare erau mult mai detaliate.

O descriere amănunțită a originii animalelor va cuprinde, în final, toate cunoștințele noii științe cu caracter multidisciplinar a secolului al 21-lea. Aceasta cuprinde geologia, paleontologia, climatologia, genetica și embriologia. Chiar și astronomii se pot alătura sugerând posibile cauze extraterestre ale glaciațiunii de la sfârșitul perioadei precambriene și ale dispariției ulterioare a *Hallucigeniei*, a lui *Anomalocaris* și a colegilor lor.

Interpretările vor fi evaluate în funcție de cât de plauzibil explică existența acestor creaturi neobișnuite care au fost îngropate timp de jumătate de miliard de ani, până când un lucrător de cale ferată în căutare de minereuri, în ziua lui liberă, a observat niște gândaci pietrificați pe versantul unui munte din Columbia Britanică.

- Pentru mai multe informații referitoare la *genetica evolutivă*, vezi **EVOLUȚIA MOLECULELOR, MONȘTRII OPTIMIȘTI ȘI EMBRIONII**. Pentru informații despre un eveniment timpuriu de tip „Bulgăre de zăpadă”, vezi **ENZIMELE GLOBALE**.

EXPLOZIILE DE RAZE GAMA



Cum se formează zilnic găurile negre

EUROPA DORMEA, iar ceasurile catedralei din Roma mai aveau două minute până la ora 4, în dimineața zilei de 28 februarie 1997, când satelitul BeppoSAX a detectat o explozie de raze gama – super-raze X – din direcția constelației Orion. Nava spațială italiano-olandeză și-a transmis observațiile prin unde radio unei stații terestre din Kenya, care a retransmis știrile schimbului de noapte al centrului de control de pe Via Corcolle din Roma.

Înregistrarea unei explozii de raze gama nu era o noutate. Deși misterioase, acestea reprezentau un fenomen familiar de mai bine de 30 de ani. Satelitul Vela-4a al Forțelor Aeriene Americane, care supraveghea exploziile nucleare, recepționase în repetate rânduri explozii de raze gama în spațiul cosmic, încă din anul 1967. Din 1991, observatorul Compton cu raze gama al NASA înregistrează zilnic asemenea explozii, pretutindeni în spațiul cosmic. Însă până în acea zi memorabilă a anului 1997, nimeni nu ar fi putut spune ce erau sau să indice cu exactitate unde aveau loc. Razele gama nu puteau fi localizate cu suficientă acuratețe astfel încât să permită oricărui alt telescop să detecteze sursa lor.

Un aparat italian de la bordul satelitului BeppoSAX a detectat o explozie puternică de raze gama cu o durată de 4 secunde, urmată de încă trei ecouri mai slabe în următoarele 70 de secunde. Însă de această dată, pe ecranul camerei video Wide Field Camera din dotarea navei spațiale, acest fenomen s-a produs simultan cu o scintilație de raze X. John Heise de la Stichting Ruimte Onderzoek din Olanda, Institutul Național Olandez de Cercetare Spațială de la Utrecht, era fizicianul responsabil cu acest telescop cu raze X. El se afla atunci la o conferință la Tokyo, însă era pregătit să reacționeze, zi și noapte, în cazul în care camera video ar fi detectat un fenomen neobișnuit în profunzimile spațiului.

Alertat prin intermediul unui semnalizator, Heise s-a grăbit să ajungă la un computer pentru a obține imaginile trimise prin Internet. Colaborând cu un coleg mai tânăr, Jean in't Zand, care se afla la Utrecht, el a reușit să precizeze poziția exactă a exploziei cu o eroare de o șesime de grad, la nordul constelației Orion.

Astfel a devenit posibil ca și alte telescoape să studieze explozia, și sigur că primele care au făcut aceasta au fost cele dintr-un grup de aparate cu raze X de

la bordul lui BeppoSAX – dispozitive italiene cu un câmp vizual mai îngust, capabile să analizeze razele X cu un spectru larg de energii. Deși au trecut 8 ore de la explozie până când s-au efectuat manevrele necesare în acest scop pe nava spațială, dispozitivele au detectat la fața locului o puternică luminozitate remanentă de raze X, reducând astfel eroarea de localizare la numai o douăzecime de grad.

Printr-o întâmplare fericită, Jan van Paradijs de la Universitatea Amsterdam își rezervase chiar în acea seară un interval de timp pentru observații cu un instrument performant în domeniul luminii vizibile – telescopul britanico-olandez William Herschel aflat la observatorul din La Palma, una din insulele Canare ale Spaniei. Telescopul a fost direcționat spre zona din constelația Orion.

„Urmăream monitorul și am observat această stea micuță”, a relatat Titus Galama, un membru al echipei olandeze. „Intuiția îmi spunea că descoperisem steaua pe care o căutam. Atunci am simțit satisfacția celor 30 de ani de muncă – și iat-o!” În următoarele zile, lumina s-a estompat. Telescopul spațial Hubble detectase o galaxie îndepărtată care găzduia sursa exploziei, sub forma unui nor estompat format în jurul acesteia.

Prima detectare a luminozității remanente vizibile în urma exploziei a reprezentat un moment decisiv în investigarea exploziilor de raze gama. Până atunci nimeni nu știuse cu precizie dacă stelele care explodau reprezentau mici erupții produse în apropiere, într-un halo din jurul Căii Lactee, sau explozii de proporții gigantice ce au loc în galaxiile îndepărtate din Univers. Această explozie de raze gama, denumită GRB 970228 (Gamma Ray Burst 97.02.28) după data la care s-a produs, a oferit o soluție acestei dileme, fiind asociată cu precizie unei galaxii îndepărtate, cu luminozitate slabă.

● Camaraderie și spirit de competiție

Doi ani mai târziu, eforturile internaționale de a detecta o nouă explozie de raze gama, indicată, de asemenea, cu precizie de camera video cu raze X de pe BeppoSAX, au fost încununare cu rezultate și mai satisfăcătoare. GRB 990123 a apărut în zorii zilei, după ora de la Utrecht, moment în care Statele Unite erau încă cufundate în beznă. Heise a localizat poziția emițătorului și a transmis știrea pe Internet. Un telescop de la observatorul de pe muntele Palomar din California a fost direcționat spre zona indicată din constelația Boötes, detectând luminozitatea remanentă de după explozie.

Observatorul Palomar a transmis celui din Hawaii o poziție și mai exactă a exploziei, în care telescopul gigantic Keck II a analizat luminozitatea remanentă până când observarea a fost întreruptă de zorii cețoși ai zilei. Lungimile de undă emise de luminozitatea remanentă erau mărite, adică deplasate spre roșu, în asemenea măsură încât galaxia care găzduia sursa exploziei ar fi trebuit să se afle la o distanță imensă. Razele gama, razele X și lumina au călătorit timp de 10 miliarde de ani până să ajungă pe Pământ.

Astronomii din China și din India au preluat ștafeta de la cei din Hawaii. Apoi agitația de weekend din Utrecht s-a potolit, iar noaptea s-a lăsat pe țărmul european al Atlanticului. La mai puțin de 24 de ore de la eveniment, Telescopul Optic Nordic din La Palma a confirmat deplasarea spre roșu raportată de astronomii din Hawaii.

Alte știri au venit de la telescopul-robot de la Laboratorul Los Alamos din New Mexico. Reacționând automat într-un interval de câteva secunde la alertele de raze gama transmise de satelitul Compton de la NASA, telescopul a monitorizat o mare parte a cerului nordic în lumină din spectrul vizibil. Reluarea înregistrării a arătat, în direcția indicată de BeppoSAX, un punct luminos asemănător unei stele strălucind timp de o jumătate de minut, și apoi estompându-se în următoarele zece minute.

Nimeni până atunci nu observase lumina vizibilă provenită în urma unei explozii de raze gama, în timp ce erupția principală era încă în plină desfășurare. Experții au denumit acest fenomen emisie promptă. Aceasta a fost atât de puternică încât putea fi observată chiar și de către astronomii amatori cu ajutorul unui simplu binoclu, dacă ei ar fi privit în direcția constelației Boötes la momentul potrivit.

În felul acesta echipajul Navetei Spațiale Pământ a cules informații despre un eveniment scurt care avusese loc la limita universului observabil. La obținerea acestui rezultat au contribuit instrumente avansate din punct de vedere tehnologic și comunicarea electronică, precum și camaraderia științifică ce a depășit granițele politice. Ei bine, acesta este modul binevoitor de a vedea lucrurile.

Cealaltă fațetă a monedei era competiția acerbă pentru prioritate, prestigiu și publicitate. Identificarea exploziilor de raze gama constituia un țel prioritar pentru astronomi, iar câțiva americani au fost vădit deranjați că europenii se descurcau atât de bine. De asemenea, exista și o ierarhie profesională. Pe prima treaptă se situau utilizatorii telescoapelor gigantice cu lumină din spectrul vizibil, care aveau acces direct la mass-media, în timp ce astronomii care foloseau camere video mici cu raze X, aflate pe sateliți neînsemnați, erau plasați undeva la jumătatea ierarhiei.

În consecință, revista *Nature* a respins o lucrare a lui Heise și a echipei satelitului BeppoSAX despre descoperirea lor numită GRB 990123. Motivul invocat a fost că revista primise deja prea multe lucrări despre acest subiect. Nu s-ar putea trimite un scurt comentariu despre observațiile lor? Heise a refuzat, spunându-i unui reporter: „Uneori ne simțim ca și când am indica poziția exactă a unei comori, iar alții se duc acolo și pretind că ei au descoperit aurul”.

Camerele cu câmp larg (wide-field) în domeniul razelor X de pe BeppoSAX monitorizau numai 5% din suprafața cerului la un moment dat, de aceea o explozie de raze gama produsă în anul 2000 la o distanță și mai mare nu a putut fi văzută de acestea. Razele gama au fost înregistrate prin intermediul a trei

navete spațiale, aflate în locuri foarte depărtate din Sistemul Solar: Wind în apropierea Pământului, Ulise la sud de Soare și NEAR-Shoemaker care orbitează în jurul asteroidului Eros. Diferențele dintre timpii de sosire a razelor gama la acești trei sateliți au permis identificarea direcției sursei.

Patru zile mai târziu, telescopul european VLT din Chile a descoperit luminozitatea remanentă din spectrul vizibil. Astronomii au înțeles imediat că explozia se produsese la o distanță extrem de mare, deoarece expansiunea Universului schimbase culoarea radiației provenite de la luminozitatea remanentă într-un roșu aprins. Măsurătorile exacte ale deplasării spre roșu au indicat faptul că evenimentul avusese loc în urmă cu 12,5 miliarde de ani, pe vremea când galaxiile abia se formau.

● O supernovă extraordinară

Exploziile de raze gama reprezintă cele mai luminoase obiecte de pe cer, de o mie de ori mai strălucitoare decât quasarii alimentați de imensele găuri negre din centrele galaxiilor. Odată ce a fost confirmată distanța uriașă până la ele, nu mai există niciun dubiu că sursele lor sunt corpuri celeste care explodează cu o violență inimaginabilă. Acestea reprezintă cele mai mari explozii de după Big Bang, și pot fi comparate, în linii mari, cu dezintegrarea bruscă a Soarelui și conversia întregii sale materii în energie radiantă.

Pentru a explica asemenea cataclisme, s-au vehiculat două teorii principale. Una dintre acestea presupunea coliziunea a două stele neutronice, care sunt stele foarte dense ce au colapsat în urma unor explozii stelare anterioare. Imaginați-vă că acestea orbitează una în jurul celeilalte, apropiindu-se din ce în ce mai mult până în momentul fuziunii finale în urma căreia se formează o gaură neagră de dimensiune mai redusă decât găurile negre care alimentează quasarii. Colapsul materiei în câmpul gravitațional extrem de intens al unei găuri negre reprezintă modalitatea cea mai eficientă de a elibera energia latentă în aceasta.

Potrivit celeilalte teorii (de fapt, un grup de teorii), o explozie de raze gama reprezintă explozia unei stele de dimensiuni gigantice. Aceasta este o super-supernovă, asemănătoare exploziilor cunoscute ale stelelor gigantice, însă mult mai strălucitoare decât în mod normal, în special în ceea ce privește emisiile de raze gama și X. Steaua ar trebui să fie, evident, de dimensiuni mari. Spre exemplu, masa acesteia ar trebui să fie de cel puțin 50 de ori mai mare decât masa Soarelui. În momentul exploziei unei astfel de stele gigantice, miezul ei se transformă instantaneu într-o gaură neagră, degajând o cantitate enormă de energie.

Teoreticienii au construit scenarii care explicau dezvelirea nucleului stelar colapsat prin dispersia învelișului exterior de gaz care se expansionează și împiedică vederea directă a supernovelor obișnuite. O altă modalitate de intensificare a strălucirii unui astfel de eveniment este focalizarea unei mari cantități de energie sub formă de fascicule subțiri. Acestea ar putea apărea din polii nord și sud ai unei stele care se rotește rapid și în același timp explodează.

Astfel de focalizări reduc substanțial energia necesară producerii exploziilor observate, însă totodată înseamnă că astronomii vor putea detecta, dintre exploziile de raze gama, doar acele câteva evenimente în care fasciculele sunt direcționate spre Pământ. Acest fapt nu exclude însă posibilitatea ca și celelalte explozii să fie vizibile, însă ca supernove obișnuite. Presupunând că fiecare explozie de raze gama de lungă durată reprezintă semnul formării unei găuri negre, rezultă de aici că în Univers s-ar produce zeci de asemenea evenimente în fiecare zi.

Supernovele produc elemente chimice – chiar și noi, oamenii, suntem alcătuiți din astfel de substanțe stelare –, iar detectarea elementelor chimice nou formate a confirmat teoria supernova a exploziilor de raze gama. Satelitul european XMM-Newton a reușit aceasta. Lansat la sfârșitul anului 1999 și prezentat drept cel mai precis telescop spațial din lume capabil să înregistreze razele X din cosmos, acesta s-a orientat de două ori, fără succes, pentru a observa pozițiile unor astfel de explozii. Abia a treia oară a avut noroc: în decembrie 2001 a reușit să înregistreze explozia de raze gama GRB 011211, care fusese localizată în urmă cu 11 ore de BeppoSAX.

„Au fost detectate pentru prima dată urme de elemente chimice ușoare, printre care magneziu, siliciu, sulf, argon și calciu”, a afirmat James Reeves, un membru al echipei de la Leicester responsabil cu camerele video cu raze X ale satelitului XMM-Newton. „De asemenea, norul fierbinte care conține aceste elemente se deplasează în direcția Pământului cu viteza de o zecime din viteza luminii. Acest fapt sugerează că explozia de raze gama este rezultatul colapsării nucleului unei stele gigante, ce a urmat exploziei unei supernove. Numai în acest fel s-ar fi putut produce elementele chimice ușoare detectate de XMM-Newton în timp ce se îndepărtau rapid de miezul stelar. În consecință, sursa exploziilor de raze gama este o supernovă, și nu o coliziune de stele neutronice”.

● Monitorizarea cerului continuă

Aceasta nu înseamnă că teoria stelelor neutronice este eronată. Evenimentele diferă foarte mult în modul lor de manifestare. Toate fenomenele examinate în detaliu până în anul 2002 erau explozii de raze gama cu o durată de un minut sau mai mult. Cele care durează doar câteva secunde ar putea fi supernove. Însă alte explozii au o durată mai mică de o secundă și pot implica mecanisme diferite.

Se cunoaște existența sistemelor formate dintr-o pereche de stele neutronice care se rotesc una în jurul celeilalte, intrând în cele din urmă în coliziune. Însă o astfel de uniune poate dura miliarde de ani, timp în care perechea s-ar putea deplasa, poate chiar părăsind galaxiile în care stelele neutronice au luat naștere. Și dacă ele sunt cauza unor explozii de raze gama secundare, durata scurtă a unor astfel de evenimente face foarte dificilă detectarea lor.

Proiectul BeppoSAX s-a încheiat în anul 2002, însă NASA lansase deja pe orbită satelitul High Energy Transient Explorer cu același scop de fixare a direcției

exploziilor de raze gama pe un interval de timp de ordinul minutelor sau orelor. NASA a proiectat, de asemenea, un satelit denumit Swift, ce urmează să fie lansat în anul 2003, în scopul identificării direcției unei explozii, capabil să efectueze manevre de redirectionare a telescoapelor din dotare într-un interval de ordinul secundelor, fără a mai aștepta comenzi de la sol.

Alte speranțe depindeau de „fratele” satelitului XMM-Newton, denumit Integral, lansat de Agenția Europeană Spațială (ESA) în 2002 și considerat drept un detector de raze gama de o precizie fără precedent. Pe lângă cele două dispozitive de identificare a razelor gama, Integral este dotat cu telescoape cu raze X și cu un monitor optic pentru lumina vizibilă. În timpul desfășurării activității sale de examinare a surselor de raze gama cu durată mare, Integral este capabil să analizeze exploziile de raze gama detectate din întâmplare în câmpul său vizual, o dată pe lună. În plus, același eveniment este înregistrat câteodată și în câmpul vizual mai îngust al monitorului optic.

„Cunoaștem faptul că unele scintilații din spectrul vizibil provenind de la exploziile de raze gama sunt suficient de puternice pentru a fi detectate, în vastul abis spațial”, a afirmat Álvaro Giménez de la Laboratorul de Astrofizică Spațială și Fizică Fundamentală din Spania, responsabil cu monitorul optic de pe Integral. „Putem spera că în timpul cercetării unei alte ținte cosmice o explozie de raze gama ar putea apărea, și-ar putea atinge maximul pentru ca apoi să se stingă, și toate acestea în câmpul vizual al instrumentelor noastre cu raze gama, cu raze X și cu lumină vizibilă. Pentru domeniul exploziilor de raze gama, acest eveniment ar fi ca și cum ai câștiga la loterie.”

Astronomii sunt interesați și de alte aspecte referitoare la exploziile de raze gama, în afara mecanismelor care determină producerea acestora. Ratele nașterii și dispariției stelelor gigante au variat de-a lungul istoriei Universului, iar numărul crescut al exploziilor de raze gama la diferite distanțe este un simptom al acestei evoluții. Quasarii au deja rol de faruri ce luminează zone îndepărtate din Univers și dezvăluie galaxiile și norii ce se găsesc în acele zone. Prin acumularea de cunoștințe despre exploziile de raze gama, care sunt și mai strălucitoare, astronomii le vor putea utiliza în moduri asemănătoare, pentru a-și extinde cunoașterea până la limitele universului observabil, în timpurile când galaxiile și stelele abia se formau.

- *Pentru mai multe informații despre supernovele gigantice, vezi ELEMENTELE CHIMICE. Pentru posibilele consecințe ale unei explozii de raze gama în apropierea Pământului, vezi MINERALE ÎN SPAȚIU. Exploziile confirmă viteza luminii în CĂLĂTORII CU VITEZA LUMINII. Alte subiecte înrudite sunt GĂURILE NEGRE și STELELE NEUTRONICE.*



EXPLOZIILE STELARE

Accidente în traficul galactic
și explozii demografice stelare

↑ **N** CALITATE DE CERCETĂTOR al coliziunilor dintre galaxii, vaste concentrări de stele al căror prototip este Calea noastră Lactee, astronoma argentiniană Amina Helmi și-a făcut o profesiune de credință din a li-l prezenta colegilor ei nordici pe Jorge Luis Borges. Ea le-a recomandat în special nuvela acestuia intitulată *Ruinele circulare*. Caracterul circular nu se referă la forma ruinelor, a explicat ea, ci la un ciclu de evenimente explozive survenite la intervale mari de timp. Tot în felul acesta evoluează și galaxiile.

Borges scria că „un nor îndepărtat, ușor ca o pasăre, a apărut pe un deal; apoi, către sud, cerul a devenit trandafiriu precum gingiile leopardului; apoi au început să apară nori de fum ce au făcut să ruginească metalul nopții; după asta a urmat fuga disperată a animalelor sălbatice cuprinse de panică. Pentru că ceea ce se petrecuse cu multe secole în urmă se petrecea acum din nou. Ruinele sanctuarului zeului Focului erau distruse de foc.”

Ca zoolog al unor ființe imaginare, Borges ar fi putut adăuga acestei liste „ulirgii” lui IRAS. Aceștia sunt de fapt „**ultraluminous infrared galaxies**” – galaxiile ultraluminoase în infraroșu descoperite în 1983 de către Satelitul astronomic în infraroșu (Infrared Astronomy Satellite), realizat de o echipă olandezo-american-britanică. Aceste galaxii i-au uimit pe experți prin emiterea radiației infraroșii invizibile, mult mai intens decât se preconiza. Observatorul spațial european în infraroșu (1995–1998) a examinat ulterior, în detaliu, multe dintre aceste sisteme galactice și a stabilit care este natura lor.

„Aceasta este prima dată când putem demonstra că mare parte din luminozitatea ulirgilor rezultă în urma formării stelelor”, a declarat în 1999 Reinhard Genzel de la Max-Planck Institut für extraterrestrische Physik (Institutul Max Planck pentru fizică extraterestră) din Germania, după ce a examinat zeci de astfel de obiecte cosmice. „A înțelege cum și pentru câtă vreme pot avea loc procese intensive de formare a stelelor în aceste galaxii este una dintre cele mai interesante probleme actuale din astrofizică.”

Pe scurt, Observatorul spațial în infraroșu a confirmat ipoteza exploziilor stelare. Aceasta consta în faptul că norii de praf rămași în urma exploziilor stelelor cu

viață scurtă, care fuseseră create într-o perioadă de efervescentă a formării stelelor, erau sursa radiației infraroșii intense. Ascunse de perdeaua de praf, roiesc nevăzute nenumărate stele tinere apărute în urma unei explozii demografice galactice. Un alt punct de vedere, rival, sugerând că o gaură neagră ar fi încălzit de fapt norul de praf, a fost considerat cel mult o ipoteză suplimentară. Astfel astronomii pot să redenumescă cu încredere aceste formațiuni galaxii hiperactive și să retrimită termenul criptic de „ulirg” înapoi la sursa inepuizabilă a jargonului științific, pentru reciclare.

Un membru marcant al echipei de astronomi în domeniul infraroșu era Catherine Cesarsky, care lucra pe atunci la CEA (Comisariatul pentru Energie Atomică) Saclay din Franța. Ea a vorbit despre „magia” observatorului spațial, care putea transforma norii opaci din spectrul vizibil în imagini strălucitoare în infraroșu. „Același lucru se petrece în norii de praf care ascund stelele nou-născute și, la o scară uriașă, în galaxiile hiperactive camuflate de norii de praf, acestea devenind faruri infraroșii ce ne luminează calea prin profunzimile Universului.”

Cesarsky a reușit să obțină fotografii în infraroșu ale galaxiilor Antennae, două galaxii spiralate aflate la 60 de milioane de ani lumină depărtare, ce erau implicate într-o coliziune lentă. Spațiile dintre stele sunt atât de mari încât galaxiile pot trece una prin cealaltă precum soldații ce mărșăluiesc contra inamicului, fără a exista impacturi stelare. Însă gazul interstelar al celor două galaxii face subiectul altei probleme.

Norii de gaz se ciocnesc la viteze mari, generând comprimare și șocuri care stimulează exploziile demografice stelare. Într-o galaxie spiralată gazul este concentrat în discul luminos. Imaginile în infraroșu ale galaxiilor Antennae indicau existența unei direcții de formare a stelelor exact pe linia de intersecție a discurilor celor două galaxii. Aceasta era știința galactică de o frumusețe matematică.

Alți astronomi au observat și au comparat sute de galaxii hiperactive. În multe cazuri, poate în toate, o coliziune între două galaxii se pare că a provocat exploziile demografice stelare. Deși foarte rece după standardele terestre, praful stelar existent în galaxiile hiperactive este mult mai cald decât ar fi fost dacă stelele nu ar fi radiat lumină asupra lui. De fapt, praful transformă lumina lor vizibilă intensă în raze infraroșii strălucitoare.

În 1998, când sistemul de răcire al Observatorului spațial infraroșu s-a defectat, membrii echipei au continuat să examineze galaxiile cu ajutorul altor instrumente de la sol și din atmosferă, la altitudini mari. Ei au contribuit la planificarea unor cercetări mai amănunțite și mai aprofundate ale fenomenului de apariție explozivă a stelelor, cu ajutorul observatorului infraroșu SIRTf al NASA, lansat în 2003, și în cadrul proiectului americano-german SOFIA ce urma să fie demarat în 2004, care utiliza instrumente în infraroșu aflate la o altitudine de 12 kilometri, la bordul unei aeronave modificate Boeing 747.

● Cele mai reci galaxii

În spectrul luminii invizibile ce străbate Universul există o zonă misterioasă „a nimănui”, pe care unii astronomi o numesc domeniul infraroșu îndepărtat, iar alții domeniul undelor radio submilimetrice. Alegeți o galaxie hiperactivă din vecinătate care emite radiație în infraroșul apropiat (pe lungimi de unde scurte) și imaginați-vă că se află la mare depărtare. Viteza de expansiune a cosmosului va deplasa aceste radiații în domeniul submilimetric. În această gamă de frecvențe astronomii ar trebui să caute galaxiile hiperactive, în zonele cele mai îndepărtate din Univers.

Avanpremiera noii ere în astronomie a avut loc în 1997, când telescopul James Clerk Maxwell de pe vârful muntelui Mauna Kea din Hawaii a fost orientat către constelația Hercules și a studiat cu atenție o galaxie îndepărtată de culoare roșie, de-abia vizibilă, numită HR 10. Telescopul cu unde radio submilimetrice, având un diametru de 15 metri, administrat de un consorțiu britanico-canadiano-olandez, a fost dotat cu o nouă cameră video având o temperatură de numai o zecime de grad deasupra temperaturii de zero absolut.

HR 10 se află la o asemenea distanță încât astronomii o văd așa cum era atunci când Universul avea mai puțin de jumătate din vârsta sa actuală. Telescopul a detectat unde submilimetrice surprinzător de intense. Prin compararea lor cu semnalele mai slabe de lungimi de undă mai mari înregistrate de un telescop cu unde milimetrice și diametru de 30 de metri de la Pico Veleta, în Spania, astronomii au calculat că galaxia HR 10 emite cea mai mare parte din energie nu de la stele, ci de la praful interstelar aflat la o temperatură de 30–50 de grade peste zero absolut, adică în intervalul de la -240°C până la -220°C .

„Această galaxie arată așa de rece deoarece își ascunde lumina stelelor în spatele unor nori groși de praf, generați de explozia stelelor cu viață scurtă”, a afirmat Andrea Cimatti de la Observatorul Arcetri din Italia, conducătorul unei echipe italiano-olandeze care studia galaxia HR 10. „În fiecare an se nasc acolo sute de stele noi, comparativ cu doar două sau trei în galaxia noastră, Calea Lactee. Cu observarea în domeniul undelor submilimetrice și milimetrice putem începe o analiză precisă a unor astfel de galaxii îndepărtate și foarte roșii, și să descoperim obiecte supraluminoase care nu pot fi nici măcar sesizate în lumina vizibilă.”

Cele mai îndepărtate galaxii ni se arată așa cum erau în tinerețea lor, datorită perioadei mari de timp necesară pentru ca radiațiile lor să ajungă pe Pământ, parcurgând imensitatea Universului. Dar exploziile demografice stelare erau mult mai des întâlnite pe când galaxiile erau tinere, deoarece la acea vreme accidente din traficul stelar erau mai frecvente. Într-adevăr, galaxiile creșteau datorită coliziunilor și fuzionărilor. De aceea astronomii nu trebuie să se aștepte să le vadă strălucind la fel de intens precum Norii Magelanici sau galaxia Andromeda.

„Lumina provenind de la majoritatea stelelor formate vreodată într-o galaxie ar putea fi ascunsă vederii de praful produs de generațiile stelare timpurii”, a aver-

tizat Michael Rowan-Robinson de la Imperial College din Londra. „Probabil doar două treimi din lumina stelară produsă vreodată de toate stelele din Univers ajung la noi numai sub formă de radiații submilimetrice.”

Observatorul spațial Herschel al Agenției Spațiale Europene, ce urmează să fie lansat în 2007 ca succesor al Observatorului Spațial Infraroșu, a fost construit special pentru explorarea Universului în domeniul undelor submilimetrice. Cu ajutorul lui, astronomii se așteaptă să descopere zeci de mii de galaxii hiperactive. Astfel, ceea ce la început au fost privite drept curiozități, „ulirgii” lui IRAS, au demonstrat până la urmă că toate stelele din Univers au fost create în urma unor explozii demografice stelare generate de coliziuni ale galaxiilor. Drept urmare, galaxiile hiperactive au devenit unele dintre cele mai importante obiecte cosmice și ținte principale pentru astronomii din secolul al 21-lea.

► Pentru subiecte înrudite, vezi ELEMENTELE CHIMICE și GALAXIILE.

EXPLOZIILE VULCANICE



Unde va avea loc următoarea explozie de proporții?

CENUȘA CARE CĂDEA DIN CER și valurile uriașe ale mării au fost urgiile care s-au abătut asupra primei civilizații urbane a Europei, civilizația minoică de pe insula Creta. Grelele lor încercări îi înfricoșează pe cercetători, deoarece aceleași lucruri se vor petrece cu siguranță, din nou, la un moment dat. Acest fapt este evident datorită naturii inexorabile a cauzei, și anume dispariția Mării Mediterane pe măsură ce Europa și Africa se apropie încontinuu, centimetru cu centimetru.

Alpii, a căror formare se datorează faptului că Italia împinge Elveția ca un berbec, sunt doar avanpremieră. Peste 10 milioane de ani, din Spania până în Turcia se vor întinde munți de proporții himalaiene. Între timp, în estul Mediteranei un fragment rămas din fundul oceanului încă separă continentele. Marginea lui nordică se scufundă, pentru ca apoi să fie distrusă, sub Creta, în jurul unei depresiuni arcuite formată de fundul mării numită Fosa Hellenică.

Într-un asemenea decor, care poate fi întâlnit în multe zone ale lumii, are loc subducția plăcii oceanice sub cea continentală, iar acțiunea de măcinare este

resimțită sub forma cutremurelor de mare adâncime. Căldura generată de frecare produce un lanț de vulcani activi, situați la cel mult 200 de kilometri dincolo de fosă. Un astfel de vulcan este Santorini, o insulă la nord de Creta, care a erupt în Epoca Bronzului.

„Stând pe vârful unei stânci aproape perpendiculare care dispare în Marea Egee simți că te afli în fața unui dezastru”, nota Simon Calder în jurnalul său de călătorie. „Urmăriți cu privirea linia de coastă în formă de semilună punctată în alb, iar când pământul se termină permiteți imaginației să întregască imaginea, ca și cum ar fi o lună nouă. Analogia lunară este potrivită deoarece ceea ce se ivește din mare este o grămadă de sfărâmaturi ce pare adusă direct din recuzita NASA. Cuvântul „calamitate” cu greu ar putea descrie ceea ce s-a petrecut aici.”

Cam 30 de kilometri cubi din scoarța terestră au fost aruncați în aer. Aceștia au lăsat o gaură de 400 de metri adâncime pe fundul mării, înconjurată parțial de stânci de 300 de metri. Insula Santorini, cunoscută și sub numele de Thera, este uneori identificată cu Atlantida, continentul dispărut din mitologia clasică.

O viziune modernă asupra a ceea ce s-a petrecut acolo s-a structurat în mod gradat, stârnind numeroase controverse. În 1967, arheologul Spiridon Marinatos din Atena a descoperit pe Santorini urmele unui port înfloritor din Epoca Bronzului, ce fusese îngropat sub cenușa vulcanică – dar nu a găsit rămășițe umane, deoarece locuitorii plecaseră. Straturile numeroase de cenușă de pe insula Creta din apropiere și de pe alte insule indică o serie de erupții puternice înaintea exploziei finale, deci probabil că oamenii au plecat din timp.

Altfel ei ar fi putut pieri într-un tsunami, un val mareic ce a urmat exploziei. Coasta de nord a Cretei și alte țărmuri ale Mării Egee au fost distruse de tsunami-uri – valuri de apă înalte de peste 30 de metri. Dramaturgul Euripide evocă în mod evident legenda populară referitoare la astfel de evenimente ce avuseseră loc pe pământul Greciei, în versurile sale scrise în 428 î.Hr.:

...Și armăsarii

Și-au îndreptat urechile spre cer, și-au dat capetele pe spate.

Și toată omenirea s-a mirat și s-a speriat,

De unde venea acea voce îngrozitoare. Și privirea noastră

S-a întors spre mare, către nisipul sărat, vuind asurzitor.

Și acolo, deasupra orizontului, părea că stă

Un val nepământesc, crestă în cer;

Până când Capul Skiron a dispărut primul din fața ochilor mei.

Unii cercetători au vrut să pună dispariția civilizației minoice din jurul anului 1450 î.Hr pe seama evenimentului de la Santorini, ceea ce a dus la apariția unor controverse. Acesta ar fi dus la mutarea polului puterii la Micene, pe insula principală a Greciei. Însă era o diferență de două secole între datări.

Dovada a fost adusă de un către un efect climatic global, foarte probabil corelat cu erupția culminantă care trebuie să fi întunecat cerul cu praful aruncat în stratosferă. Copaci străvechi atât din California cât și din nordul Irlandei prezentau semne clare ale unei încetiniri a creșterii, vizibile în inelele trunchiului lor, timp de câțiva ani începând cu 1628 î.Hr.. Datarea cu carbon radioactiv a unui copac carbonizat de sub cenușa vulcanică din Santorini în intervalul 1670 – 1610 î.Hr. confirma această dovadă.

O dată puțin diferită, în jurul anului 1645 î.Hr., a rezultat în urma detectării acidității datorate prafului vulcanic radioactiv dintr-un strat situat la mare adâncime în calota glaciară a Groenlandei. În 2003, mici particule de sticlă din Santorini au fost identificate în gheața din acea perioadă și s-a afirmat că anul 1645 î.Hr. este corect cu o aproximație de cinci ani. Prin urmare, fie datarea făcută cu ajutorul inelelor copacilor se referă la un cu totul alt eveniment, fie una dintre cele două metode de datare este puțin greșită.

Așa cum se întâmplă de obicei cu poveștile din domeniul geostiinței, evenimentul din Santorini a devenit tot mai complicat pe măsură ce cercetările au avansat. Geologii au găsit dovezi că depresiunea actuală, sau caldera, din Santorini s-a format în cel puțin patru etape. La sfârșitul secolului, Tom Pfeiffer de la Aarhus a concluzionat că: „Tsunamiurile, căderile de cenușă și schimbările climatice datorate emisiei de aerosoli în stratosferă ar fi putut duce la declinul civilizației minoice din Creta”. Declin, dar nu dispariție.

● Daruri de nuntă chimice

Să recunoaștem adevărul despre explozia din Santorini: a fost mai mare decât faimoasa explozie vulcanică din 1883 din Krakatau, o insulă aflată la vest de Java. Acel eveniment a ucis 35 000 de oameni, în mare parte din cauza valurilor tsunami. În comparație cu explozia de la Santorini, erupțiile de la sfârșitul secolului al 20-lea, El Chichón (din Mexic, în 1982), Mount St. Helens (din SUA, în 1990) și Pinatubo (din Filipine, în 1991) par neînsemnate. Pe de altă parte, mărirea exploziei finale de la Santorini a fost aproximativ jumătate din cea a exploziei lui Tambora de pe insula indoneziană Sumbawa din 1815, care a preschimbat un munte într-un lac de crater vulcanic.

Caldera lui Tambora are diametrul de șase kilometri și adâncimea de un kilometru. Praful care a ajuns în stratosferă în urma evenimentului din 1815 a dus la răcirea temperaturii în întreaga lume, iar în emisfera nordică anul 1816 a rămas vestit ca „anul fără vară”. Acesta a fost anul în care Mary Shelley a scris romanul *Frankenstein*, în timpul unei vacanțe în Elveția, o lucrare plină de gânduri întunecate în acord cu vremea cumplită.

Un lac de crater vulcanic mult mai mare este Toba din Sumatra, lung de 100 de kilometri și lat de 30 de kilometri. O explozie care a avut loc acolo în urmă cu 75 000 de ani a fost cel mai mare eveniment vulcanic din istoria geologică recentă. Explozia a împrăștiat cenușă în straturi groase pe fundul Oceanului Indian,

cauzând o eră glaciară în miniatură. Arhivele de polen fosil din întreaga lume indică o răcire accentuată urmată de o revenire gradată.

Indonezia este o zonă vulcanică activă din același motiv ca și Marea Egee. În Fosa Java se află de asemeni un reziduu îngust de fund oceanic, situat între Asia pe de o parte și Australia și Noua Guinee pe de altă parte, și care se scufundă până la distrugere, ca un preludiu la o altă coliziune continentală ce va avea loc peste 10 milioane de ani. Dacă vei zbura deasupra insulei Java paralel cu fosa oceanică, vei putea vedea conuri vulcanice străpungând norii cu o regularitate care pare aproape construită. Iar dacă vei coborî sub stratul de nori, vei observa ferme terasate suind pantele abrupte ale vulcanilor ca și când i-ar sfida să facă tot ce e mai rău.

O legendă locală spune că primul rege al Yogyakarta s-a căsătorit cu regina mării. S-au dus să locuiască înăuntrul lui Merapi, un vulcan veșnic fumegând ce se înalță deasupra orașului în Java Centrală. Cuplul regal oferă încă oamenilor cadouri de la sărbătoarea nunții lor, sub forma unui sol foarte fertil. Din punct de vedere geochimic, legenda este corectă și explică de ce oamenii se stabileau în număr mare în jurul vulcanilor, în pofida pericolului evident.

Rezervele de elemente nutritive din sol, cum ar fi fosforul și fierul necesare dezvoltării plantelor, se pierd continuu prin îngropare sau sunt spălate de ape către râuri. Acestea trebuie înlocuite prin eroziunea rocilor. Materia vulcanică venită direct din măruntaiele Pământului este atât bogată chimic cât și foarte ușor de erodat. Javanezii susțin că dacă pui un baston în pământul lor, acesta va prinde rădăcini și va crește.

Din aceleași motive, urmașii locuitorilor orașului Pompei plantează încă viță de vie pe pantele Vezuviului. Locuitorii zonelor vulcanice au căzut la învoială cu Mama Natură, deoarece știau că erupțiile mari sunt puține și îndepărtate unele de altele la scara vieții umane. Însă amenințările valurilor tsunami, și ale răcirilor climatice planează asupra multor alți oameni care locuiesc la o distanță considerabilă de zonele vulcanice.

Tsunamiurile ascund o întreagă poveste deoarece cutremurele, curgerile de noroi de pe fundul mării și prăbușirea structurilor vulcanice inactive în mari alunecări de teren, toate pot crea valuri, la fel ca și erupțiile vulcanice de pe fundul oceanului. Valurile sunt abia perceptibile în largul mării, însă cresc în înălțime pe măsură ce se apropie de țărm. Ele nu călătoresc mai repede decât avionul, deci avertizările sunt posibile, cel puțin în principiu, pentru a evacua câteva din zonele de coastă amenințate, situate mai la distanță. Pe de altă parte, o „iarnă vulcanică”, cum mai este numit uneori cel mai grav efect climatic, poate fi îndurată – până când praful se depune și permite din nou razelor soarelui să pătrundă.

● Vulcanii și clima

În iunie 1991 o erupție a Vulcanului Pinatubo din Filipine a aruncat la mare înălțime în stratosferă rocă pulverizată și gaze. Stratosfera se află mult deasupra

norilor, care au tendința să curețe aerul destul de repede. Prafului fin din stratosferă îi ia mai mult timp să se depună iar vânturile de la altitudinile înalte îl poartă în toate părțile lumii. Aproximativ vorbind, particulelor de minerale le trebuie cam un an ca să revină pe pământ, în timp ce picăturile de acid sulfuric și alte produse chimice persistă în stratosferă și câțiva ani.

O stație terestră din Hawaii a detectat praf ce provenea de la Pinatubo cu ajutorul unui laser. Sateliții au urmărit stratul de praf extinzându-se și acoperind efectiv întregul glob pământesc, până în octombrie 1992. Alți sateliți care monitorizau temperatura aerului au sesizat fenomenul de încălzire a stratosferei pe măsură ce praful absorbea lumina soarelui și fenomenul de răcire a atmosferei inferioare pe măsură ce suprafața Pământului primea mai puțină lumină. Între anii 1991 și 1992 temperatura medie a aerului din atmosfera inferioară a scăzut cu $0,4^{\circ}\text{C}$ și nu a mai revenit la nivelul atins înainte de erupția lui Pinatubo până în anul 1995. Această variație poate fi comparată cu încălzirea globală de aproximativ $0,6^{\circ}\text{C}$ de-a lungul întregului secol al 20-lea.

Semnalul climatic al lui Pinatubo era destul de clar. Efectul erupției lui El Chichón din 1982 a fost depășit de efectul de încălzire al fenomenului oceanic El Niño din estul Pacificului. Erupția explozivă a vulcanului Bezimianny din Kamciatka, în 1955, a fost mascată în mod asemănător de activitatea excepțională a Soarelui din acea perioadă. Confuziile cauzate de agenții naturali rivali care influențează clima sunt amplificate, în cazul vulcanilor, de metodele folosite de oamenii de știință pentru a descrie efectele vulcanilor asupra atmosferei, deoarece aceste metode sunt adeseori contradictorii.

Indicele de explozivitate vulcanică sau IEV este probabil cel mai util în evaluarea activității vulcanice, la fel ca scara Richter pentru evaluarea cutremurelor. Calculul lui se bazează pe volumul estimativ de lavă și de praf eliberat în atmosferă în urma erupției. Zeci de vulcani care erup în fiecare an sunt înregistrați cu IEV situat în intervalul 0–2 și dărele lor de fum nu urcă prea sus. Erupțiile cu indicele 3 sau 4 injectează o anumită cantitate de materie în stratosferă, având astfel un efect de scădere a intensității luminii solare la suprafața Pământului. Indicele 5 este punctul de la care începând ne putem aștepta să apară efecte grave ca urmare a degajării unei cantități de materie ce depășește 1 kilometru cub. Bezimianny, El Chicón și Pinatubo au avut indicele 5. La fel și Vezuviul care a erup în anul 79 d.Hr., îngropând orașele Pompeii și Herculaneum. Explozia de la Krakatau de indice 6 a aruncat în aer mai mult de 10 kilometri cubi de materie. Iar Tambora, cu mult peste 100 de kilometri cubi de materie și având indicele 7, se detașează drept cel mai mare eveniment de acest fel cunoscut (până în prezent) în istorie.

În mod normal iernile vulcanice sunt de scurtă durată deoarece praful se depune și nu este reînnoit. Dar dacă există mai multe erupții ce se succed la intervale mici de timp, răcirea poate fi prelungită. Mărturii ale unor asemenea episoade provin din cea mai mare arhivă globală a erupțiilor vulcanice majore, care se păstrează în calotele glaciare din Groenlanda și Antarctica.

În 1977 Claus Hammer de la Copenhaga a descoperit că depunerile chimice provenite de la vulcani situați la mare distanță determină variații ale conductivității electrice a gheții, pe măsură ce aceasta se formează an după an. În deceniile următoare Hammer și colegii săi au reușit să identifice activitatea multor vulcani binecunoscuți, înregistrată în compoziția straturilor din mostrele de gheață de la mare adâncime obținute prin perforarea calotelor glaciare. De exemplu, ei au confirmat că erupția de la Santorini a avut loc în secolul al 17-lea î.Hr.

Straturile vulcanice s-au dovedit foarte utile pentru datarea încrucișată a gheții din mostrele de gheață din Groenlanda și Antarctica. Acestea au evidențiat, de asemenea, erupții neînregistrate anterior, precum și existența unor mari variații în frecvența erupțiilor, de la un secol la altul și de la un mileniu la alt mileniu. De exemplu, au fost semnalate în gheață șase evenimente majore din secolul al 17-lea d.Hr. și nici unul în secolele al 14-lea și al 15-lea. Cea mai șocantă a fost o serie de evenimente majore ce a avut loc acum 17 500 de ani. Aceasta s-a manifestat de-a lungul a 170 de ani, prin mai multe izbucniri violente.

Este oare o coincidență faptul că acele erupții s-au produs tocmai când Pământul începea să iasă din ultima eră glaciară, după ce atinsese temperaturi minime acum aproximativ 24 000 de ani? Hammer crede că nu. Erupțiile s-au produs în vestul Antarcticii, iar creșterea nivelului mării care a însoțit fenomenul dezghețului general ar fi putut să distrugă parțial calota de gheață din acea zonă. Dacă presiunea platformei de gheață ajutase la înăbușirea activității vulcanice, micșorarea ei bruscă ar fi putut declanșa erupțiile.

În interpretarea lui Hammer, nu numai vulcanii pot influența clima, ci și clima poate influența la rândul ei erupțiile vulcanice. La fel cum greutatea platformei de gheață poate avea tendința de a înăbuși vulcanii din regiunile polare, tot astfel nivelul ridicat al mării poate reduce erupțiile vulcanilor submarini. Scăderea nivelului mării care apare odată cu începutul unei ere glaciare ar putea să aibă de asemenea un efect stimulator, dar încă nu există dovezi în acest sens.

La o scară a timpului mai redusă, variabilitatea naturală a frecvenței erupțiilor de la un secol la altul este inexplicabilă, dar ar trebui să fie luată în considerare pentru evaluarea perspectivelor de viitor. „După o perioadă de început destul de încărcată, secolul al 20-lea a fost neobișnuit de liniștit în ceea ce privește erupțiile vulcanice majore”, a observat Hammer. „Absența lor a contribuit la încălzirea globală și s-ar putea să dormim legănați într-un fals sentiment de siguranță”.

● Și următoarea mare erupție.....

Cea mai mare erupție a secolului al 20-lea a întunecat în mod misterios bolta cerească de deasupra orașului Washington DC și a altor locuri, în 1912. Patru ani s-au scurs până când a fost detectată cauza, vulcanul Katmai din sud-vestul peninsulei Alaska, unde urmele unui eveniment ce este cotate cu indicele de explozivitate 6 reprezintă atracția turistică din Valea celor 10 000 de fumuri.

Spre deosebire de această descoperire întârziată, geologii britanici care examinau, în 1985, imaginile înregistrate de satelitul US Landsat au găsit rocă fierbinte aproape de suprafața lui Lascar din deșertul din Chile, cu mult înainte ca vulcanul să erupă în cursul anului următor. Sateliții care supraveghează Pământul detectează cu ușurință erupțiile importante, datorită dărelor de fum sau căldurii emanate de lavă și pot urmări praful stratosferic și gazele rezultate în urma erupțiilor mari.

Stațiile seismice, situate fie la distanță fie în apropierea vulcanilor activi, anunță cutremurele ce preced sau însoțesc erupția. Alte indicii ale activității incipiente provin de la instrumentele magnetice și de la detecțiile de gaze vulcanice – cel mai adesea sulfuroase. Niște simple camere de luat vederi au luat locul paznicilor singuratici care vegheau precum păstorii pantele multor vulcani, urmărindu-i cum fumegă. Sistemele de navigație prin satelit și o tehnică nouă numită interferometrie radar pot detecta mișcările solului.

Uneori nici măcar nu ai nevoie de instrumente ca să observi mișcarea de ridicare a solului. Coralul rămas pe vârfurile stâncilor din insula japoneză Iwo Jima, situată la o distanță de 1 200 de kilometri la sud de insula principală a Japoniei, arată că întreaga insulă s-a ridicat cu 120 de metri în ultimii 700 de ani. Un mare rezervor de rocă topită se adună sub ea. Expertii japonezi urmăresc cu mare atenție această insulă. O eventuală erupție ar putea atinge indicele de explozivitate 6, determinând niște valuri tsunami uriașe.

Japonia preistorică a avut la rândul său un echivalent al lui Santorini. În preajma anului 4350 î.Hr., vulcanul Kikai din insulele Ryuku a explodat la 100 de kilometri depărtare de extremitatea sud-vestică a uscatului. A atins indicele de explozivitate 7, în timp ce Santorini a avut indicele 6. Norul dens de cenușă a ajuns până în Hokkaido, la o distanță de peste 1 000 de kilometri.

Unde va avea loc următoarea mare explozie? Vulcanii explozivi sunt de obicei asociați cu fosele oceanice și cu convergența plăcilor tectonice ce formează scoarța terestră – spre deosebire de vulcanii noroioși care au o origine diferită. Oceanul Pacific se micșorează, în timp ce Atlanticul crește, fiind astfel înconjurat de un Inel de Foc. Și oricine ar lua în considerare trecutul, în ceea ce privește exploziile vulcanice, e foarte probabil să-ți indice spre nord-estul Japoniei. Un șir de lanțuri vulcanice în formă de arc trece prin insulele Kurile, prin Kamciatka din estul Rusiei și apoi spre Alaska prin insulele Aleutine.

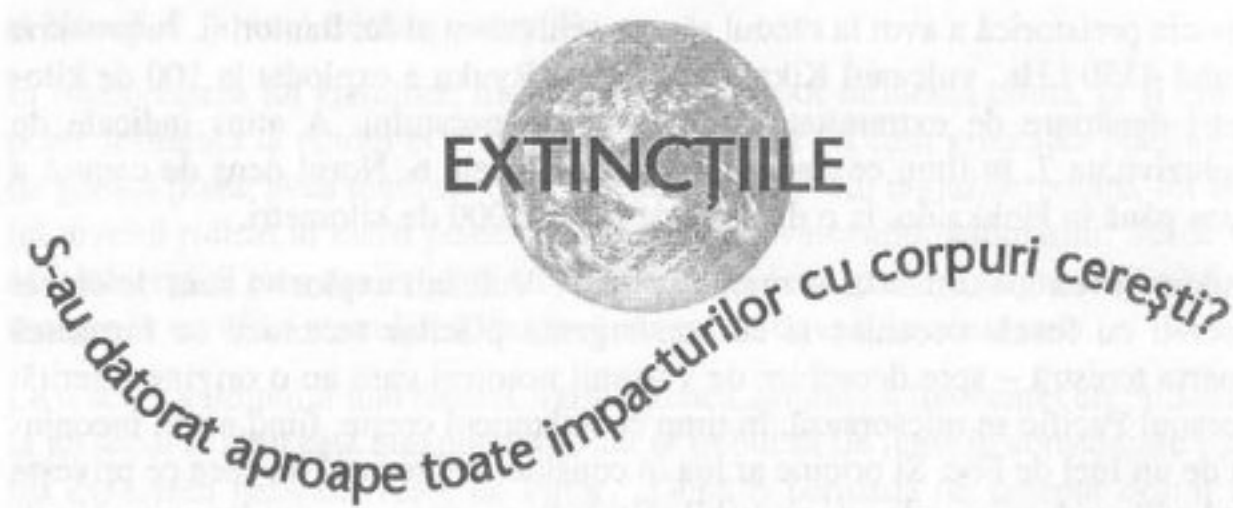
Zilnic, peste 100 de avioane de pasageri care zboară pe rute polare trec pe deasupra frontierei nordice a acestui Inel de Foc. Prioritatea numărul unu a Observatorului Vulcanilor din Alaska, situat în orașul Anchorage, este prin urmare să avertizeze autoritățile aviatice asupra norilor de praf care ajung în stratosferă. Aceștia nu sunt prea amabili cu motoarele cu reacție, iar în 1989 unui avion Boeing 747 i s-au oprit toate cele patru motoare atunci când a intrat într-o dâră de fum ce provenea de la vulcanul Redoubt. Echipajul le-a repus în funcțiune abia după ce avionul a căzut până la o distanță de un kilometru de vârful

muntelui. La scară planetară, asemenea cvasidezastre datorate prafului vulcanic au loc cam o dată pe an.

În ultimii 10 000 de ani s-au produs în lanțurile vulcanice Kurile-Alaska multe evenimente cu indicele de explozivitate 6. La fel cum mai multe cutremure mici pot micșora în mod gradat presiunea de la nivelul scoarței terestre, tot așa erupțiile moderate frecvente ale unui vulcan pot împiedica formarea unei explozii paroxistice. Următoarea mare explozie poate aștepta momentul potrivit, fără să atragă atenția asupra ei.

„Cel puțin douăzeci de erupții catastrofice au avut loc în arcul Aleutinilor în ultimii 10 000 de ani, și acestea au aruncat zeci de kilometri cubi de lavă în atmosfera Pământului,” constata Thomas Miller de la US Geological Survey. „Sunt de așteptat și în viitor erupții asemănătoare în această regiune. Deși nu se poate face nimic pentru a preîntâmpina aceste erupții, care pot avea numeroase efecte locale și care determină schimbări climatice la nivel global, sistemele noastre moderne de monitorizare ne pot avertiza cu suficient timp înainte pentru a fi salvate viețile omenești aflate în pericol”.

- Pentru informații despre vulcanii noroioși, vezi **ZONELE FIERBINȚI** și **INUNDAȚIILE BAZALTICE**. Pentru alte informații despre dezastre naturale generate de Pământul nu prea solid, vezi **CUTREMURELE**.



- ↑ ÎN DEFILEUL DE LÂNGĂ ORAȘUL MEDIEVAL GUBBIO DIN UMBRIA s-ar putea crede că a avut loc o bătălie cu arme de foc. Un curs de apă își croiește drum printre depozitele de calcar ce alcătuiau, în urmă cu câteva milioane de ani, fundul mării. În prezent, straturile de sedimente de calcar înălțate și înclinate se ridică de o parte și de alta a drumului, ca o piramidă de cărți de joc văzută din lateral. Găurile care se pot distinge în pereții stâncoși nu au fost provocate de gloanțe, într-o reglare de conturi dintre Banda Gradualiștilor și Copiii Catastrofei, ci au fost pur și simplu cauzate de către oamenii de știință care au prelevat mostre. Sicriul dinozaurilor este un strat de argilă roșie de numai un centimetru grosime, însă cu o vechime de peste 65 de milioane de ani, care urcă pe peretele de stâncă

la fel de precis ca o linie trasată pe un grafic în funcție de timp realizat de geologi. S-ar putea afirma că a pipăi argila italiană ar fi ca și cum ai atinge bucăți din Mexic. Același tip de argilă se găsește și în Noua Zeelandă. Au fost necesari câțiva ani pentru ca materia pulverizată în urma impactului cu o cometă să se depună, Soarele fiind în tot acest timp întunecat de un văl de praf. Viața a fost întreruptă pentru o clipă.

Dedesubtul stratului de argilă se găsește calcarul din perioada cretacică, pe când *Tyrannosaurus rex* și prăzile sale gigantice guvernau lumea. Dinastiile de dinozauri carnivori și ierbivori au prosperat timp de 140 de milioane de ani. Deasupra stratului de argilă se află un strat de calcar puțin mai deschis la culoare, din perioada terțiară, când au dispărut toți dinozaurii. Tot în acea perioadă au dispărut complet din apele oceanelor și amoniții, cu frumoasele lor cochilii spiralate, după ce stăpâniseră domeniul acvatic vreme de peste 300 de milioane de ani. Începând de atunci, lumea a aparținut mamiferelor, păsărilor și peștilor, în pofida pierderilor grele suferite și de aceste specii.

Marea extincție de la sfârșitul erei mezozoice, care a redirecționat cursul evoluției, coincidea exact cu perioada argilei roșii de la Gubbio. Mulți biologi evoluționiști și vânători de fosile au respins dovezile despre extincția de la sfârșitul perioadei cretacice, ce au apărut începând cu anul 1980. Aceștia preferau să creadă că dinozaurii au murit de constipație sau că mamiferele obraznice le-au mâncat ouăle acestora, sau orice altă poveste fantastică ce le-ar fi putut întreține iluzia mareață că selecția naturală a lui Darwin explica evoluția.

Sarcina de a susține existența unei cauze extraterestre care a determinat extincțiile în masă a revenit unui fizician, unui geolog și câtorva specialiști în științe spațiale de la UC Berkeley. Acest fapt trebuia explicat suficient de clar încât să atragă atenția biologilor. Luis Alvarez era specialist în fizica particulelor. Fiul său, Walter, era geolog și cunoștea foarte bine defileul de la Gubbio. Dacă argila roșie ar fi reprezentat într-adevăr criza care a determinat dispariția dinozaurilor, care a fost durata acestei perioade? Echipa de la Berkeley a început măsurătoarea duratei evenimentului de la sfârșitul perioadei cretacice, combinând geologia, meteoritica (știința meteoritilor) și chimia nucleară pentru evaluarea iridiului.

Acest element metalic se găsește în cantități infime în interiorul scoarței terestre, însă abundă în praful meteoritic care cade invizibil, neîncetat, din spațiul cosmic. Mostrele de la Gubbio au fost introduse într-un reactor pentru cercetare de la Berkeley, ceea ce a făcut ca iridiul să devină radioactiv și detectabil, atom cu atom, datorită razelor gama emise. Iridiul putea fi utilizat apoi în calitate de „ceas” cu scopul de a descoperi perioada de timp în care s-a format stratul de argilă roșie.

Rezultatul a fost șocant. În comparație cu calcarul adiacent, conținutul de iridiu din argilă creștea cu un factor de 30. Walter Alvarez a obținut argilă asemănătoare

de pe o faleză din apropierea Copenhagăi, aparținând de asemenea perioadei de trecere cretacio-terțiar, în care creșterea de iridiu era cu un factor de 160. Fie durata formării stratului de argilă roșie a fost neverosimil de lungă, ținând cont de rata lentă de depunere a prafului meteoritic, fie Pământul a primit un aflux de iridiu provenit de la o sursă mai mare.

După ce au fost dezbătute și respinse ipotezele emisiilor vulcanice și cea a exploziei unei stele din apropierea Pământului, Alvarez tatăl și fiul împreună cu Frank Asaro și Helan Michel au anunțat, în 1980, că cea mai probabilă explicație ar fi un impact suferit de planeta dinozaurilor cu un asteroid având diametrul de 10 kilometri. În urmă acestui impact, microplaneta ar fi aruncat în aer praf cu o greutate de 10 ori mai mare decât propria sa masă, capabil să întunece Soarele timp de câțiva ani și să sisteze aproape în totalitate viața plantelor și a animalelor.

Depunându-se pe întreaga planetă, praful provenit în urma impactului ar fi determinat formarea stratului de argilă, dopat într-o anumită măsură cu iridiu provenind din asteroid. Ulterior a fost vehiculată ideea impactului cu o cometă. În ambele cazuri, rezultatele obținute la Berkeley referitor la extincțiile în masă datorate impacturilor au stârnit o amplă controversă.

● „O aroganță incredibilă”

Principala teorie evoluționistă din secolul al 20-lea nu prea era de acord cu însăși ideea de extincție. Stephen Jay Gould de la Harvard a concluzionat: „Într-o lume darwiniană excesivă a adaptării, a transformării gradate și a perfecționării, extincția părea un eveniment negativ – eșecul fundamental, reversul acțiunii ‘reale’ a evoluției, un aspect care poate fi recunoscut, însă despre care nu se prea vorbește într-o societate distinsă”.

Aceasta neglijare tacită a persistat în ciuda faptului că 99,9% din totalitatea speciilor care existaseră pe Pământ, inclusiv cele care avuseseră mare succes la vremea lor, au dispărut. În 200 de ani de cercetare sistematică a fosilelor, acțiune inițiată de William Smith în Anglia și de Georges Cuvier în Franța, paleontologii au stabilit o scală geologică a epocilor. Diferite perioade și etape ale erei în care viața a apărut și s-a dezvoltat (aceasta însemnând în termeni moderni aproximativ ultima jumătate de miliard de ani) au fost identificate prin fosile animale specifice, care au continuat să dispară în etapele următoare.

Noile specii apărute necesitau, evident, un spațiu ecologic suficient, nișe ecologice propice dezvoltării fără o competiție prea mare. Exceptând suprafața de uscat nou formată, fiecare astfel de nișă ar fi fost suprapopulată de o sută de ori, dacă extincția nu ar fi eliminat în mod constant pasagerii anteriori, prin neprezentare. Din când în când această epurare avea loc pe scară largă, atât în adâncul oceanelor cât și pe uscat.

În secolul al 20-lea, radioactivitatea a calibrat această scală a timpului. Un paleontolog de la o companie petrolieră poate să localizeze în timp, pe o perioadă de

până la un milion de ani, o mostră obținută prin foraj, doar prin examinarea fosilelor microscopice. Oamenii de știință din domeniu s-au obișnuit atât de mult cu această cronică utilă a aparițiilor și a disparițiilor, încât au uitat să mai cerceteze motivul pentru care acestea s-au petrecut.

Dogmele universitare, consolidate în lupta de la începutul secolului al 19-lea, au încurajat distragerea de la această problemă. Pentru Cuvier din Paris cea mai evidentă explicație a transformărilor drastice din rândurile populațiilor de animale, de la o eră geologică la alta, era o catastrofă care ar fi luat prin surprindere speciile care stăpâneau teritoriile. La Londra însă, tânărul său contemporan, Charles Lyell a combătut această idee. El susținea că istoria Pământului ar trebui înțeleasă din perspectiva desfășurării gradate a proceselor lente de transformare geologică observabile astăzi în lume.

„Aflându-ne la începuturile acestei științe, nu suntem autorizați să recurgem la agenți extraordinari”, scria Lyell în 1830. Tonul său critic a ieșit victorios. Noțiunea de gradualism introdusă de el s-a potrivit ulterior foarte bine cu ideea de evoluție biologică lentă susținută de protejatul său, Charles Darwin, pe care l-a sprijinit eroic în tot acest timp. Chiar și în secolul al 20-lea, ideea de catastrofă a rămas un concept respingător pentru unii dintre evoluționiști și vânători de fosile, devenind un subiect de-a dreptul scandalos în momentul în care fizicienii au anunțat o posibilă cauză extraterestră a extincțiilor.

„Aroganța acestor oameni este pur și simplu incredibilă”, declara în 1985 Robert Bakker de la Colorado, expert în dinozauri. „Aceștia n-au nici cele mai mici cunoștințe despre felul în care evoluează, trăiesc și dispar animalele în realitate. Adevăratele motive ale dispariției dinozaurilor sunt în legătură cu variațiile temperaturii și ale nivelului mării, cu răspândirea bolilor datorită migrației și cu alte evenimente complexe.”

Perspectiva gradualistă asupra evoluției impunea ca dinozaurii să fi dispărut de bună voie înainte de sfârșitul perioadei cretacee. Această ipoteză a fost verificată în cadrul celei mai intensive vânători de fosile din istorie, și s-a dovedit a fi falsă. O echipă numeroasă de voluntari a descoperit la Hell Creek, în statul Montana, acolo unde au coabitat speciile *Tyrannosaurus* și *Triceratops*, 1 000 de fosile noi de dinozauri datând din perioada de la granița cretacicului cu terțiarul. Nu a existat nici cel mai mic indiciu al vreunui declin al acestor specii înainte de evenimentul neașteptat și fatal survenit în urmă cu 65 de milioane de ani.

Sutele de metri de calcar aliniat de-a lungul defileului de la Gubbio demonstrează faptul că se pot forma într-adevăr depozite, milimetru cu milimetru, în timp ce Pământul se rotește de milioane de ori în jurul Soarelui. Stratul de argilă roșie, gros de un centimetru, împreună cu microfosilele austere existente în stratul de calcar imediat superior, reprezintă dovada unui eveniment catastrofic survenit atunci când o cometă neatentă a ales să intersecteze orbita Pământului exact în momentul în care acesta trecea pe acolo.

● Legătura dintre viață și astronomie

Biologii nu puteau susține că nu le-a spus nimeni despre existența obiectelor rebele din Sistemul Solar. Coliziunile dintre Pământ și comete erau pe agenda de lucru a astronomilor încă din anul 1694, când Edmond Halley din Londra a expus ipoteza „șocului accidental al unei comete” ca explicație a Potopului lui Noe. Teama de impact a produs panică generală la Paris în anul 1773 și la Londra în anul 1857. În 1910, în Statele Unite s-a vehiculat predicția conform căreia cometa Halley va lovi Pământul undeva între Boston, Massachusetts și Boise, Idaho.

„Nu s-a întâmplat nimic”, își amintește scriitorul James Thurber, care era pe atunci un adolescent în Ohio, „în afara faptului că am rămas cu un tic curios de a mă trage de urechea stângă după fiecare apus și cu tendința de a o lua la fugă la vederea unui chibrit aprins sau a unei lanterne”. Astfel de alarme false nu au combătut ipoteza evidentă pentru astronomi, potrivit căreia accidente de trafic cosmic sunt inevitabile și faptul că ar trebui să căutăm dovezi despre astfel de evenimente trecute în istoria Pământului. Acest fapt a reprezentat un caz clasic în care oameni de știință din diferite domenii au viziuni incompatibile asupra aceleiași probleme.

Până la mijlocul secolului al 20-lea, astronomii au calculat că durata tipică a perioadelor geologice, de aproximativ 50 de milioane de ani, se potrivea destul de bine cu intervalele presupuse dintre coliziunile cu comete de dimensiuni mari. Realitatea impacturilor cu meteoriți gigantiști s-a demonstrat prin descoperirea unui număr din ce în ce mai mare de cratere nonvulcanice pe suprafața Pământului, uneori denumite răni stelare sau astrobleme. Misiunile spațiale au confirmat ipoteza conform căreia craterele de pe suprafața Lunii sunt determinate de impacturi, dezvăluind faptul că fiecare planetă cu suprafață tare sau lună din Sistemul Solar este presărată cu cratere survenite în urma impacturilor. Acestea sunt mai puțin evidente pe Pământ, deoarece activitatea geologică a cicatrizat sau a ascuns aceste răni stelare.

În 1973, chimistul Harold Urey de la Chicago a întărit cazul *prima facie* (caz evident, fără a necesita alte dovezi) referitor la impacturile cu comete care au determinat schimbări biologice. El a descoperit coincidențe între sfârșiturile erelor geologice din ultimii 50 de milioane de ani și erele grohotișurilor sticloase, denumite tectite, produse în urma impacturilor cu meteoriți de mari dimensiuni. Dar biologii, care nu-i luaseră în considerare nici pe astronomi, nu aveau de gând să capituleze în fața unui chimist.

Pe măsură ce lista craterelor de impact cunoscute a crescut, s-a îmbunătățit atât datarea perioadelor geologice, cât și a craterelor. Oricine putea să caute acum legături între acestea două. Apoi a venit povestea iridiului de la Gubbio, în 1980, urmată de descoperirea, în 1991, a unui crater imens îngropat la Chicxulub, în Mexic, datând din aceeași perioadă.

● Cele cinci mari extincții

Câțiva experți în istoria vieții, departe de a fi sceptici în privința impacturilor cosmice, au acceptat aceste evenimente ca explicație a crizelor repetate din viața Pământului. Vânătorii de fosile David Raup și Jack Sepkoski de la Chicago au identificat cinci mari extincții în masă în rândurile a 3 800 de specii de animale marine în ultimii 500 de milioane de ani. Trei dintre acestea sunt confirmate de existența unor cratere corespunzătoare.

În afara catastrofei de la sfârșitul perioadei cretacee (Chicxulub, 65 de milioane de ani în urmă, 180 de kilometri în diametru), a mai existat un holocaust la sfârșitul triasicului în rândul animalelor coraliere și al reptilelor marine, corespunzător craterului Manicouagan din Canada (cu o vechime de 214 de milioane de ani, 100 de kilometri în diametru). O decimare mai timpurie, din perioada devoniană, a unor organisme care trăiau în recife și pe fundul mării, a corespuns craterului Siljan din Suedia (cu o vechime de 368 de milioane de ani și 55 de kilometri în diametru).

Până la sfârșitul secolului al 20-lea nu s-au descoperit cratere corespunzătoare ultimelor două dintre cele cinci mari extincții catalogate de Raup și Sepkoski. Poate că acestea nu se vor descoperi niciodată. Una dintre aceste extincții constituie cel mai nefericit eveniment din istoria Pământului, petrecut în urmă cu 245 de milioane de ani, la sfârșitul permianului și a „vechii vieți” din era paleozoică, moment în care au fost distruse aproximativ 96% din totalitatea speciilor de animale marine. De asemenea, nu s-a descoperit niciun crater convingător care să corespundă sfârșitului perioadei ordovicene, în urmă cu 440 de milioane de ani, care a coincis cu dispariția unui număr semnificativ de trilobiți și de pești primitivi.

Luând în considerare dificultatea descoperirii craterului Chicxulub, îngropat sub o masă de pământ, și faptul că toate craterele formate în urma impacturilor pe fundul oceanelor, cu o vechime de peste 200 de milioane de ani, au fost în totalitate ascunse de mișcările plăcilor tectonice, nimeni nu ar trebui să considere absența dovezilor drept absență a impacturilor. Un raport de trei din cinci urme de cratere corespunzătoare principalelor extincții în masă este remarcabil.

În anul 1991 Raup a lansat o întrebare provocatoare: „Ar fi posibil ca toate extincțiile să fi fost produse de impacturile cu meteoriți?” Impacturile mici ar putea eradica câteva specii dintr-un teritoriu limitat din punct de vedere geografic, restrâns la zona afectată. Impacturile majore ar distruge specii remarcabile și răspândite teritorial.

Raup a respins criticile, motivând că întrebarea lansată de el reprezenta un experiment mintal. El a explicat cât se poate de clar că prin „toate” înțelegea „aproape toate extincțiile”. Unele dispariții au avut la bază alte cauze, spre exemplu, erupțiile vulcanice, deriva continentelor care a determinat conflicte între specii,

erele glaciare sau bolile. Însă, în opinia lui Raup, efectele unor asemenea cauze au reprezentat evenimente minore și fără consecințe importante.

Raup a accentuat natura impetuoasă a impacturilor cerești, care au distrus specii foarte bine adaptate mediului lor. Însăși frecvența scăzută a impacturilor demonstrează că acestea sunt incapabile să producă presiunea constantă necesară selecției naturale pentru a determina adaptarea speciilor la asemenea catastrofe și astfel, supraviețuirea. Cele mai importante inovații evolutive ale trecutului au fost posibile prin dispariția unor întregi grupuri de specii. „Dacă extincția ar fi întotdeauna un joc cinstit”, a declarat Raup, „în care supraviețuitorii merită să trăiască iar victimele să moară, nu am mai avea înregistrările evolutive din prezent”.

Viitorii istorici ai științei ar putea considera epopeea Gubbio-Chicxulub printre alte aventuri globale care au modificat irevocabil percepția asupra vieții de pe planeta noastră – inclusiv călătoria navei HMS *Beagle* la bordul căreia se afla și tânărul Charles Darwin. Toate relatările de acum înainte despre mecanismele și istoria evoluției sunt lipsite de valoare dacă nu încep prin a recunoaște că dacă impactorul de la Chicxulub ar fi intersectat orbita Pământului cu 20 de minute mai devreme, noi nu am mai fi existat.

Formarea munților și eroziunea s-ar fi desfășurat neperturbate. În consecință defileul de la Umbria s-ar fi format aproape în același mod. Însă dacă n-ar fi existat o linie roșie subțire de-a lungul rocilor calcaroase, n-ar mai fi existat nici mulțimea de găuri pe suprafața acestora, din care mâinile unui mamifer inteligent au prelevat mostre în scopul analizei științifice.

- *Referitor la descoperirea craterului mexican și alte consecințe ale unor astfel de evenimente, vezi IMPACTURILE. Referitor la o asociere surprinzătoare cu evenimentele vulcanice, vezi INUNDAȚIILE BAZALTICE. Pentru mai multe detalii despre obiectele minuscule existente în Sistemul Solar și monitorizarea recentă a celor mai periculoase, vezi COMETELE ȘI ASTEROIZII. Pentru alte probleme cu privire la teoria evoluționistă convențională, vezi EVOLUȚIA și referințele existente în acest capitol.*



FAMILII DE PARTICULE

Desăvârșirea Modelului Standard al materiei și comportamentul său

ÎN 1934, UN TÂNĂR CONFERENȚIAR din Osaka, Hideki Yukawa, a avut o noapte agitată. El a ales să devină fizician teoretician în loc de preot, deși s-ar putea spune că nu este o mare diferență între acestea, pentru un suflet retras și contemplativ ca al său. Când era la școală, a dat din întâmplare peste o istorie a primelor descoperiri din teoria cuantică. „Nu înțelegeam deloc ce înseamnă”, a recunoscut el mai târziu, „dar am simțit o atracție mistică pentru acele cuvinte”.

Ce l-a frământat pe Yukawa în acea noapte, și nu pentru prima dată, a fost descoperirea neutronului de către James Chadwick, la Cambridge, în 1932. Această particulă fără sarcină electrică avea aproximativ aceeași masă ca și protonul cu sarcină pozitivă, care era deja cunoscut ca nucleu al atomului de hidrogen. De atunci, nucleele atomilor mai grei au putut fi ușor înțelese ca grupuri de foarte mulți protoni și neutroni.

După descoperirea neutronului, fizicienii s-au străduit să afle cum era posibilă supraviețuirea unor atomi mai grei decât hidrogenul. De ce forța de respingere reciprocă dintre sarcinile electrice ale protonilor, care era foarte intensă, determina aglomerarea acestora într-un volum foarte mic, în loc să facă nucleul să explodeze? Neputând dormi în acea noapte la Osaka, Yukawa a dat fizicii o nouă direcție, imaginându-și un nou tip de particulă care ar putea uni protonii și neutronii printr-o forță nucleară tare.

Pentru că masa ei se situează între cea a electronului ușor și a protonului greu – la nivelul mezanin, ca să spunem așa – particula prezisă de Yukawa a fost numită „mezon”. Un fizician indian, Homi Bhabha, i-a dat numele acesta în 1938. El a atras de asemenea atenția că dacă mezonul ar fi vreodată eliberat printr-o reacție nucleară violentă, s-ar descompune rapid într-un electron și un neutrino.

În înălțimile munților Anzi din Bolivia, în 1947, Cecil Powell din Bristol a descoperit o particulă cu aceleași caracteristici în radiația cosmică. Mezonul lui Powell a fost denumit pion. Aceasta îl diferențiază de ceilalți mezoni Yukawa, ca pentru a le da fizicienilor mai mult decât au cerut.

Mezonii numiți kaoni au indicat pentru prima dată existența unui nou tip neobișnuit de materie. Ei au fost descoperiți tot în 1947, într-un experiment cu

radiația cosmică de pe Pic du Midi din Pirinei, de către George Rochester din Manchester. În acel moment straniețea a pătruns în lumea fizicienilor.

Kaonii și alte asemenea particule, incluzând și rudele grele ale protonului, erau stranii. Ei se dezintegrau mult mai încet decât ar fi fost normal. Aveau o caracteristică asemănătoare sarcinii electrice sau spinului, care îi diferenția de protoni, de neutroni și de pioni. Noile particule trebuiau să scape de ea înainte să se dezintegreze în tipurile cunoscute de materie. În 1953, Murray Gell-Mann de la Caltech a botezat această caracteristică „straniețate”, nume care a devenit un termen tehnic.

În fizica particulelor domnea confuzia. Detectoarele de radiație cosmică și acceleratoarele de particule au scos la iveală o varietate uimitoare de particule asemănătoare protonilor și mezonilor. Toate aveau mase și proprietăți diferite, precum și denumiri arbitrare, de obicei o literă grecească. Înainte de a muri în SUA, în 1954, eminentul fizician de origine italiană Enrico Fermi s-a plâns unui student : „Tinere, dacă aș fi putut ține minte numele tuturor acestor particule, atunci aș fi ajuns botanist”.

● Quarci colorați

Descoperirea particulelor stranii de către Rochester a simplificat foarte mult situația. Gell-Mann și alții au organizat pentru prima dată particulele grele cunoscute în familii de particule protonice și mezonice, fără a mai face diferența între ele ca entități matematice. Apoi, Gell-Mann a propus, în 1963, ca protonii și mezonii să nu mai fie considerați particule elementare, pentru că erau compuși din subunități mai fundamentale. Entitățile matematice care erau combinate pentru a alcătui particulele dintr-o familie erau, spunea el, obiecte reale.

„I-am numit quarci, după tipătul ironic al pescărușilor, «Trei quarci pentru Muster Mark», din *Priveghiul lui Finnegan* (*Finnegans Wake*) a scriitorului irlandez James Joyce”, a explicat Gell-Mann. „Unii oameni pronunță *quahk* în loc de quarc, dar cred că printre numeroasele înțeleșuri pe care le dădea Joyce acestui cuvânt era și un calambur pe ideea unei unități de măsură a berii (quart = sfert de galon, aproximativ un litru), așa că eu pronunț *quawk*.”

Toate particulele asemănătoare protonilor sunt alcătuite din trei quarci. Inițial, se credea că sunt trei tipuri diferite de quarci, numite „sus” (up), „jos” (down), și „straniu” (strange). Protonul e format din doi quarci „sus” și unul „jos”, iar neutronul – din doi quarci „jos” și unul „sus”. Caracteristicile intrinseci ale quarcilor numiți „sus”, „jos” și „straniu” au devenit cunoscute drept „arome”. Primul triumf al teoriei a fost predicția unei particule nedescoperite anterior, alcătuită din trei quarci „straniu”. A fost numită particula omega, și și-a făcut apariția, în 1964, într-un experiment de la Laboratorul Național Brookhaven, degajând treptat trei doze de straniețate, pe măsură ce s-a dezintegrat.

În ceea ce privește mezonii lui Yukawa, lianții nucleului atomic, fiecare este alcătuit dintr-un quarc și un antiquarc. Între particulele-mesager ale forțelor și

particulele asupra cărora acționau a devenit evidentă existența unei afinități. Același lucru se știa despre forța electrică, ai cărei purtători sunt particulele de lumină – fotonii – alcătuite din electroni și antielectroni (pozitroni). Înainte de sfârșitul anilor 1960, o teorie despre o altă forță universală, forța nucleară slabă a radioactivității, identifica particulele-mesager ale acestui tip de forță ca fiind neutrinii, particule fantomatice influențate doar de forța slabă.

Apoi, forța nucleară tare s-a dovedit a fi un produs secundar al unei interacțiuni și mai fundamentale între particule – „culoarea”, ce unește quarcii într-un proton. De aici a rezultat ideea, susținută și de Oscar Greenberg de la Maryland, în 1964, că quarcii au și alte proprietăți distinctive în afară de arome. Gell-Mann le-a numit culori, dar nu fiindcă aceștia ar fi într-adevăr colorați, ci deoarece sarcinile lor colorate se combină la fel ca și culorile.

O sarcină electrică poate fi doar pozitivă sau negativă, însă un quarc are trei opțiuni pentru sarcinile lui colorate: roșu, verde și albastru. Protonul și alte particule reale asemănătoare trebuie să aibă câte un quarc din fiecare culoare, astfel încât combinația lor să fie de culoare albă. (Analogia este în acest caz cu lumina colorată și nu cu combinațiile de vopsea.) Culoarea pură nu va fi întâlnită niciodată și, de fapt, acesta este motivul pentru care protonul nu are doi sau patru quarci. Doar trei pot crea albul.

De asemenea, și mezonii trebuie să fie albi. Ei au doar doi quarci, dar unul este antiquarc cu anticuloare, sau culoare complementară, care poate fi turcoaz, mov sau galben. Dacă quarcul este roșu, iar antiquarcul este turcoaz, combinația lor va da albul necesar. Dar deși mezonii unesc protonii și neutronii, ei nu sunt particulele-mesager ale forței care ține laolaltă quarcii în interiorul protonilor și neutronilor.

Rolul acesta revine forței de culoare, ale cărei particule-mesager sunt numite gluoni care, asemenea mezonilor, au culoare și anticuloare, dar fără restricțiile impuse quarcilor. Tot așa cum quarcii individuali își expun culoarea cu limitările impuse de proton, la fel fac și gluonii. Cum nu trebuie să fie albi, ca mezonii ce apar în public, orice combinație de culori și anticulori e permisă în cazul gluonilor.

Să observăm încă o dată: forța de culoare este transmisă de particule care posedă sarcină de culoare, ca și quarcii asupra cărora acționează. Ideea forței de culoare intermediată de gluoni a fost dezvoltată de mai mulți teoreticieni la începutul anilor 1970, sub denumirea oficială de cromodinamică cuantică. Pe lângă gluoni, s-au descoperit și alte particule-mesager numite bosoni W și Z, care transmit forța nucleară slabă, prevăzute de o teorie care a făcut analogia dintre aceasta și forța electrică, unificându-le în forța electroslabă. În acel moment, întregul reperoriu de forțe subatomice care apar în Modelul Standard a devenit disponibil.

O particularitate a forței de culoare este faptul că scade în intensitate atunci când quarcii se apropie la distanțe foarte mici. „În proton ei sunt liberi să se miște în voie, fără să interacționeze reciproc”, a explicat David Politzer de la Harvard,

unul dintre creatorii teoriei. „Pe de altă parte, când quarcii încep să se separe, între ei apare o interacțiune tot mai puternică.”

Quarcii sunt bine izolați, departe de ochii lumii. Deci cum s-ar putea confirma existența quarcilor și a gluonilor? Răspunsul a venit în 1979 de la Hamburg, în urma unui experiment realizat în laboratorul Deutsches Elektronen-Synchrotron (Sincrotronul German cu Electroni), de coliziune între electroni și antielectroni (pozitroni). Printre rezultate au fost și modelele distinctive în formă de Y a trei fascicule de particule. Fiecare era un flux de particule binecunoscute, îndreptându-se toate aproximativ în aceeași direcție.

Interpretarea dată acestor rezultate a fost că, datorită coliziunii inițiale, un quarc și un antiquarc s-au îndepărtat unul de altul și s-au dezintegrat în alte particule. Dacă aceasta ar fi fost totul, fluxurile de particule ar fi avut direcții opuse. Dar dacă unul dintre quarci ar degaja un gluon, reculul i-ar schimba direcția, iar gluonul s-ar dezintegra la rândul lui și ar genera un flux deviat sub un anumit unghi, producând astfel forma de Y. Vitezele și unghiurile determinate în experimentele de la Hamburg erau în perfect acord cu teoria quarcilor și a forței de culoare.

„Quarcii care apar indirect sub formă de fascicule de quarci au devenit aproape reali”, comenta Harald Fritzsch de la München. „Ei sunt subiecte de investigație deși își petrec viețile închiși în hadroni.” (Prin hadroni, fizicienii înțelegeau particule de tipul protonilor și mezoni.) Mai târziu, Frontul de Eliberare a Quarcilor, cu reprezentanți la CERN și la Brookhaven, și-a propus să genereze temperaturi extrem de ridicate prin coliziunile dintre nucleele atomilor grei, pentru a obține astfel quarci în stare liberă.

● Mai multe arome ale quarcilor

După ce s-au zbatut în mlaștina particulelor inexplicabile din anii 1950, teoreticienii au ajuns pe un teren mai solid la începutul anilor 1970. Luând-o înaintea experimentatorilor, unii dintre ei au afirmat că inventarul particulelor de materie era incomplet. Spre exemplu, quarcul ar putea avea mai mult de trei arome.

„Farmec (charm), în sensul unui mecanism magic pentru prevenirea răului”, a fost explicația dată de Glashow noii arome a quarcilor, care se alătură celor deja existente : sus (up), jos (down) și straniu (strange). Împreună cu James Bjorken, a prezis-o în 1964. Existența noului tip de quarci elimina astfel anumite dificultăți care începuseră să apară în teoriile particulelor și forțelor.

Un moment crucial l-a reprezentat însă descoperirea unei particule noi, de peste trei ori mai grea decât protonul. A fost produsă de acceleratoarele de la Laboratorul Național Brookhaven și la Centrul Acceleratorului Liniar Stanford, în experimente conduse de Sam Ting și, respectiv, Burton Richter. Independența și simultaneitatea descoperirii au devenit clare când cei doi s-au întâlnit la Stanford la ora 8 dimineata, într-o zi de noiembrie a anului 1974.

„Burt, trebuie să-ți povestesc ceva interesant din fizică.”

„Sam, eu trebuie să-ți povestesc ceva interesant din fizică.”

Amintindu-și acest schimb de cuvinte, Richter a comentat că „deși nu este un dialog scilicitor, a fost începutul unei conversații uimitoare, neavând nici cea mai vagă idee despre rezultatele lui Ting”.

Ting a numit particula J, iar Richter – psi, și astfel a ajuns să fie cunoscută ca J/psi sau „gipsy” (țigan). S-a lansat ipoteza că era de fapt un mezon supergrea conținând un quarc de tip „farmec” (charm). Până în 1976, cei de la Stanford au dovedit că particula era alcătuită dintr-un quarc „farmec” și un quarc „anti-farmec”, iar numele „charmoniu” a câștigat. Trei luni mai târziu, fizicienii de la Fermilab puneau în evidență primul proton „fermecat”.

Între timp, o altă descoperire de la Stanford a stârnit și mai mult imaginația specialiștilor. În 1975, Martin Perl a identificat o versiune supergrea a electronului, pe care a numit-o particula tau. În 1937, miuonul, o particulă cu masa de 200 de ori mai mare decât masa electronului obișnuit, fusese detectată în radiația cosmică. A fost caracterizată atunci drept fratele mai mare al electronului. Din aceeași familie, particula tau a lui Perl era un alt frate, de 3 500 de ori mai greu decât electronul.

Teoreticienii au bănuț că, asemenea quarcilor, și electronii ar avea arome, și că o familie extinsă ar putea uni cele două tipuri de particule. Un electron obișnuit era înrudit cu quarcii „sus” și „jos”, iar exotical miuon cu quarcii „straniu” și „farmec”. În această schemă, particula tau implica existența a încă doi quarci. Într-adevăr, tau însemna T, adică „tri”, o a treia categorie de materie aromată.

Haim Harari de la Institutul Weizmann din Israel i-a denumit pe cei doi noi quarci, „vârf” (top) și „bază” (bottom). Unii colegi doreau să le spună „adevăr” (truth) și „frumusețe” (beauty), sau chiar „fără vârf” și „fără bază”, dar numele austere s-au impus. Descoperirea quarcului „bază” la laboratoarele Fermi în 1977 a confirmat tabloul generalizat al quarcilor. Toate componentele Modelului Standard al materiei și al forțelor erau acum la locul lor, deși particulele ce conțineau quarcul „vârf” nu și-au făcut apariția până în anii 1994–1995, tot la Fermilab.

● O teorie completă

Dintre toate complicațiile și ezitățile povestirii precedente a rezultat o imagine fidelă a materiei obișnuite din Univers și a forțelor ce acționează în interiorul atomilor. Era extraordinar de economică în idei și concepte. În Modelul Standard, materia grea din nucleul atomic e formată din numai șase arome de quarci, care pot avea diferite sarcini colorate, împreună cu antiquarcii lor. Electronii, care formează în atomi nori de sarcină electrică negativă în jurul nucleelor cu sarcină pozitivă, apar de asemenea în șase variante. Electronul însuși, miuonul și tauonul au fiecare câte un neutrino specific asociat, fără sarcină electrică. În cazul fiecăruia există câte o antiparticulă cu caracteristici asemănătoare și sarcină de semn contrar.

Din combinațiile acestor particule și antiparticule ale materiei, teoria demonstrează cum creează Mama Natură nu doar protoni și alte particule compuse, dar și diferite forțe. Toate particulele materiale simt forța slabă transmisă prin intermediul particulelor W, alcătuite dintr-un electron și un antineutrino sau invers (un antielectron și un neutrino), sau al particulelor Z, alcătuite dintr-un neutrino și un antineutrino, sau cu alte compoziții. Fotonii alcătuiți dintr-un electron și un antielectron transmit forța electrică, prin care interacționează toate particulele cu sarcină electrică. Forța nucleară tare, simțită doar de particulele de tipul protonilor și de mezoni, este transmisă de gluoni (cu culoare și anticuloare) în interiorul particulelor și de mezoni (quarc și antiquarc) între particule.

Din punct de vedere matematic, toate aceste forțe sunt descrise de așa-numitele teorii gauge, care ajung la aceleași rezultate de oriunde pornesc. Forța electrică oferă un exemplu simplu de invarianță față de punctul de pornire, prin exemplul unui porumbel ce stă pe un cablu electric în timp ce acesta e alimentat repetat la o tensiune de 100 000 de volți. Semnalele de o fracțiune de volt continuă să treacă normal prin sistemul nervos al păsării.

Invarianța față de circumstanțe este o cerință necesară dacă diferitele forțe trebuie să acționeze în același mod asupra protonului sau în proton, fie că acesta este ancorat de un munte sau vâjâie prin Galaxie cu o viteză apropiată de viteza luminii, ca particulă a radiației cosmice. Cu alte cuvinte, teoriile gauge sunt compatibile cu deplasarea la viteze mari și cu teoria specială a relativității a lui Albert Einstein. Obligatorietatea ca teoriile forțelor să fie de acest tip sporește încrederea fizicienilor în ele.

Aceste patru paragrafe rezumă Modelul Standard, o teorie completă și una din cele mai mari reușite ale științei secolului al 20-lea. A fost creat și confirmat experimental într-o epocă de neconținută agitație. Aproape la fel de repede cum teoreticienii elaborau teoriile, experimentatorii produceau particulele corespunzătoare din aerul rarefiat, în vidul mașinărilor lor uriașe. Era ca și când Mama Natură avea chef să stea de vorbă și să le împărtășească fizicienilor modurile ei misterioase de a guverna Universul.

Frenezia a durat aproximativ 20 de ani, fiind încununată de materializările particulei triplu stranie omega, în 1964, și a purtătorului forței slabe, Z, în 1984. Dar după apogeu a urmat o perioadă de tăcere asupra subiectului particulelor fundamentale și a forțelor ce acționează între ele. Majoritatea fizicienilor specialiști în domeniu a trebuit să se mulțumească cu confirmarea predicțiilor teoriilor existente cu precizii de tot mai multe zecimale.

Dacă Modelul Standard ar fi complet prin el însuși, sau dacă s-ar ajunge la capătul poveștii, muțenia Mamei Natura la sfârșitul secolului al 20-lea nu ar fi surprins pe nimeni. Dar niciun criteriu nu a fost îndeplinit. Relativ la acesta, Chris Llewellyn Smith de la CERN afirma, în 1998: „În timp ce Modelul Standard este economic în concepte, punerea lor în practică este barocă, iar modelul conține multe caracteristici urâte și arbitrare”.

● Speranța că se vor găsi imperfecțiuni

Două decenii mai devreme, când entuziasmul era în toi, Richard Feynman de la Caltech a stricat toată distracția. El a punctat atunci unul din cele mai grave dezavantaje ale Modelului Standard recent apărut pe atunci. „Problema maselor particulelor este ignorată”, a acuzat el.

Teoreticienii au metode empirice foarte eficiente pentru estimarea maselor noilor particule, făcând referință la cele ale particulelor cunoscute. Și totuși, nimeni nu poate spune de ce quarcii sunt mai grei decât electronii, sau de ce quarcul „vârf” este de 44 000 de ori mai masiv decât quarcul „sus”. Conform versiunilor originare ale teoriilor, toate particulele ar trebui să aibă masa intrinsecă zero, însă doar fotonii și neutrinii se conformează acestei reguli. Masele reale ale celorlalte particule sunt adaosuri arbitrare, care se presupune că s-au obținut prin introducerea de particule din exterior.

La începutul secolului al 21-lea, fizicienii și-au îmbunătățit acceleratoarele pentru a aborda problema maselor, căutând o anume particulă Higgs, care ar putea-o rezolva. De asemenea, erau dornici să găsească imperfecțiuni în Modelul Standard. Numai când acestea vor fi descoperite, se va deschide cu adevărat calea către o lume superioară, cu multe alte particule și forțe.

Fizicienii erau îngroziți la gândul că intrau într-un deșert, unde mașinăriile lor nu aveau să găsească nimic, în domeniul descoperirii particulelor, care să egaleze marile realizări ce au avut loc în ultimii 100 de ani. Primul indiciu că s-ar putea să nu fie chiar așa de ghinionişti le-a apărut în 1998, odată cu rezultatele unui experiment subteran din Japonia. Acestea arătau că neutrinii nu au masa zero, așa cum cerea Modelul Standard. Ura!

- *Pentru mai multe detalii despre evoluția Modelului Standard, vezi **FORȚA ELECTROSLABĂ, SUPA DE QUARCI și BOSONII HIGGS**. Pentru alte teorii care îl depășesc, vezi **SPARTICULELE și SUPERCORZILE**. Alte capitole corelate sunt **RADIAȚIA COSMICĂ și OSCILAȚIILE NEUTRINICE**.*



FENOMENE GLACIARE

Valuri glaciare datorate schimbărilor climatice bruște

DESPRINSE DIN GHETARII GROENLANDEI, aisbergurile migrează către sud primăvara și la începutul verii, împinse de curentul Labrador, un curent rece cu temperaturi sub zero grade Celsius. Când întâlnesc apele calde ale Curentului Golfului, la sud de Newfoundland, în zona platourilor subacvatice Grand Banks, acestea dispar rapid. Căpitani prudenti navighează doar la temperaturi ale apei de minim 15°C și astfel evită și ceața specifică zonelor cu apă rece.

Cu secole înainte ca ele să scufunde unul dintre cele mai luxoase vase din lume și peste 1 500 de suflete ce se aflau pe el, în 1912, aisbergurile ce se iveau prin ceața ce învăluia Grand Banks erau deja rău famate printre navigatori. Poveștile despre aisbergurile de pe rutele maritime din Atlanticul de Nord, culese de la marinari, datează încă din 1900. Cu peste 1 000 de astfel de incidente, sezonul navigabil din 1912 a marcat pierderi serioase, însă nu a fost unul excepțional. Patrula internațională pentru monitorizarea aisbergurilor (International Ice Patrol), înființată după dezastrul din 1912, a continuat numărătoarea. Aisbergurile ce apăreau în zona Newfoundland și mai la sud variaua ca număr între numai unul în 1958 și 2 200 în 1984.

Aisbergul este o formațiune plutitoare din gheață care se structurează în jurul resturilor minerale desprinse din stâncile ce înconjoară ghețarul-mamă, aflat undeva la mare depărtare. Când gheața se topește, aceste resturi se alătură *Titanicului*, pe fundul oceanului. Ele pot fi găsite printre celelalte sedimente ce se acumulează în ocean de sute și mii de ani. Vase special echipate pentru cercetare forează adânc în aceste sedimente pentru a recupera probe din diferitele straturi care ilustrează schimbările condițiilor fizice din trecut, precum și ale stilului de viață din oceanul stratificat.

În 1977, William Ruddiman de la Columbia scria primele pagini dintr-un roman polițist climatic a cărui acțiune avea să se întindă pe durata a 25 de ani, în care relata despre nisipul exotic depus pe fundul Atlanticului de Nord în timpul ultimei ere glaciare. El interpreta aceasta prin faptul că temperaturile mai scăzute de la suprafața apei permiteau aisbergurilor desprinse din calotele glaciare din vecinătatea Atlanticului de Nord să plutească mai departe și să se topească mai greu, înainte de a-și descărca nisipul pe fundul oceanului.

A urmat apoi descoperirea uluitoare a unui cercetător de la Institutul Hidrografic German din Hamburg. În anii 1980, Hartmut Heinrich a examinat mostre din nisipul de pe fluxul oceanic al părții europene a Atlanticului de Nord. În sedimentele din ultimii 70 000 de ani el a găsit materiale transportate de ghețari depuse neuniform, în episoade diferite, reprezentate de cele 11 straturi distincte, îmbogățite cu nisipuri de cuarț. În șase dintre acestea, cele mai masive din ultima eră glaciară, s-au descoperit fragmente de roci provenind din zone îndepărtate. Un doctorand elvețian din echipa lui Heinrich, Rüdiger Jantschik de la Universitatea Neuchâtel, le-a stabilit originea în Marea Norvegiei, în Groenlanda și, în cazul rarelor granule de rocă albă calcaroasă, chiar în America de Nord. Heinrich le-a atribuit unei serii de deplasări neobișnuite de blocuri de gheață care au avut loc la intervale cuprinse între 7 000 și 10 000 de ani, în timpul ultimei glaciațiuni, primul în urmă cu 60 000 de ani și ultimul acum 17 000 de ani.

„A trebuit să ne imaginăm că, din când în când, mari flote de aisberguri se desprindeau și pluteau pe mare”, descria Heinrich fenomenul. „Ele puteau călători dinspre America de Nord traversând oceanul și ajungeau să-și depună resturile de rocă pe care le transportau în gheață pe partea noastră de ocean. Și indicau episoade care nu mai fuseseră menționate în niciun manual despre schimbările climatice, apărut până la acea dată.”

Acestea au fost numite „evenimente Heinrich” și erau interpretate drept perioade de răcire bruscă a vremii care durau câteva secole. Aceste schimbări climatice drastice se suprapuneau peste modificările treptate ale temperaturilor globale și regionale de-a lungul a mii de ani, ce se datorau la rîndul lor oscilațiilor Pământului pe orbită – principalii factori ce stabileau ritmul erelor glaciare. Existau destule dovezi ce proveneau din diverse zone, de exemplu din calota glaciară a Groenlandei și din fosilele de pe fundul unui lac din nord-estul Franței, care indicau apariția unor răciri bruște și severe ale climei, însă nu se cunoștea motivul producerii lor.

După ce Heinrich și-a publicat, în 1988, studiile referitoare la aceste episoade, dovezile sistematice ale schimbărilor bruște de climă au iscat controverse aprinse. O teorie susținea că extremitatea estică a platformei glaciare a Laurentidelor, ce a acoperit o mare suprafață din America de Nord în timpul erei glaciare, s-a îndopat cu zăpadă și din când în când s-a mai purificat, colapsând sub propria greutate. Aisbergurile eliberate în urma acestei „bulimii” glaciare au influențat puternic clima. Efectele asupra climei nu s-au limitat la răcirea apelor Atlanticului de Nord, ci au inclus formarea unui capac din gheața topită la suprafața oceanului, ce interfera astfel cu sistemul de curenți oceanici care aducea apă caldă spre nord, prin Curentul Golfului.

Aceste evenimente de răcire descoperite în straturile ce alcătuiesc fundul oceanului sunt contrapartea unor evenimente de încălzire înregistrate în ghețurile Groenlandei. Willi Dansgaard din Copenhaga a devenit faimos datorită examinării minuțioase a probelor de gheață extrase prin forări la mare adâncime din

calota glaciară a Groenlandei. El a folosit variația proporțiilor de oxigen greu cu 18 atomi, prezent în gheață, drept indicator pentru modificările de temperatură.

În straturile de gheață formate la mijlocul ultimei ere glaciare, în perioada cuprinsă între 80 000 și 10 000 de ani în urmă, investigate în două locuri de foraj de pe calota glaciară foarte îndepărtate unul de celălalt, Dansgaard a descoperit douăsprezece evenimente bruște, intense, de încălzire, ce au durat câteva sute de ani. Ca și evenimentele Heinrich, ele nu prea aveau legătură cu variațiile mișcării Pământului pe orbită, ce guvernau erele glaciare. Colaboratorul lui Dansgaard era Hans Oeschger din Berna, iar aceste perioade de încălzire au fost numite „evenimente Dansgaard-Oeschger”. Să fi fost oare acestea contrapartea caldă a evenimentelor Heinrich? Pentru a putea răspunde la această întrebare, mai sunt necesare foraje suplimentare.

● Pe urmele surselor sedimentelor

La Hamburg, Heinrich s-a ocupat de cu totul alte îndatoriri, însă alți specialiști i-au continuat descoperirile. Universitatea Columbia a fost avantajată. Observatorul terestru Lamont-Doherty de aici, amplasat pe o faleză stâncoasă ce străjuia valea fluviului Hudson, săpată de ghețari, adăpostea cea mai mare colecție de roci marine. Ele avuseseră un rol hotărâtor în confirmarea teoriei astronomice a glaciațiunii, în perioada anilor 1970. Și dacă mai erau încă multe întrebări despre fenomenele de transport al fragmentelor de rocă cu ajutorul aisbergurilor, aici era locul unde trebuiau căutate răspunsurile.

După cum s-a dovedit, cel mai avantajat a fost un geolog, Gerard Bond, căsătorit cu Rusty Lotti, cea care era custodele laboratorului de roci marine. În 1995, Gerard i-a spus soției că ar dori să examineze exponatele din Atlanticul de Nord mai amănunțit, milimetru cu milimetru. Au format amândoi o echipă pentru a realiza această cercetare, ceea ce s-a dovedit a fi o carieră în sine. Marea răbdare ce se impunea le-a fost în curând răsplătită.

În afară de rocile calcaroase albe ale lui Heinrich, ce proveneau din nordul Canadei, din zona strâmtorii Hudson, Bond și Lotti au observat anumite sedimente pătate cu roșu-ruginiu de la minereul de fier (hematit), amestecate cu carbonații. Acestea proveneau din sudul Canadei, din regiunea St. Lawrence – de la care a provenit numele platformei de gheață a Laurentidelor. S-au mai găsit și resturi de sticlă vulcanică neagră, transparentă, de proveniență din Islanda. În concluzie, aisbergurile păreau să fi pornit simultan la drum, din locuri diferite.

Datând din perioadele dintre evenimentele glaciare Heinrich, Bond și Lotti au identificat alte straturi în care apăreau sedimentele roșii de la St. Lawrence și sticla vulcanică din Islanda, în timp ce roca albă calcaroasă din strâmtoarea Hudson lipsea. Heinrich evaluase greșit, micșorând frecvența evenimentelor de transport cu ajutorul aisbergurilor. Aceasta se produsese pentru că în partea nord-estică a fundului Oceanului Atlantic, de unde proveneau probele studiate de el,

evenimentele observate de Bond și de Lotti au lăsat doar ușoare urme printre cele mari pe care Heinrich le prezentase.

Aceste fenomene de deplasare a sedimentelor prin intermediul blocurilor de gheață plutitoare, despre care se știe acum că au avut loc la intervale de aproximativ 1 400 de ani, au reprezentat probabil cel mai drastic mod de schimbare climatică evidențiat de rapoartele geologilor de-a lungul epocii umanității pe Pământ. În doar câteva zeci de ani, în nordul Atlanticului de Nord, temperatura medie putea scădea brusc cu câteva grade Celsius.

„Considerăm că acest ciclu a fost activ timp de zeci de mii de ani și că el poate continua încă și astăzi; dacă este așa, e important să știm exact în ce etapă ne aflăm”, atenționa Bond în 1995. „Avem dovezi certe că pot apărea modificări climatice semnificative chiar și pe perioada unei vieți omenești. E important să descoperim mecanismele care provoacă astfel de modificări, dacă vrem să ne pregătim pentru potențialele lor efecte.”

Frecvența scăzută a episoadelor Heinrich pare a reflecta un alt ritm, mai lent, ce are legătură cu desprinderile masive de aisberguri în Strâmtoarea Hudson și în alte locuri, pe vremea când acestea puteau uneori călători până în nord-vestul Africii, în apropierea Marocului. Devenea din ce în ce mai sigur faptul că evenimentele de plutire a gheții mult mai frecvente, observate de Bond și Lotti, erau ciclice, fără să implice neapărat o temporizare strictă. Colaborând cu experții din Copenhaga, care obținuseră gheață dintr-o nouă probă forată din vârful platformei glaciare a Groenlandei, Bond a demonstrat că perioadele de răcire au alternat destul de regulat cu episoadele de încălzire Dansgaard-Oeschger. Perioadele reci însoțite de fenomenele de plutire a gheții erau foarte vizibile în înregistrările din probele de gheață studiate.

La mijlocul anilor 1990 era încă destul de incert dacă flotele de aisberguri erau ele însele cauza răcirii, motivată de ciclurile îndopare-purgație ale diferitelor platforme de gheață, sau dacă aceste desprinderi erau efectele unui alt factor ce genera aceste schimbări climatice. Bond și Lotti și-au continuat munca de detectivi împreună cu un grup tot mai mare de colaboratori. Au studiat sedimentele centimetru cu centimetru, concentrându-și atenția asupra a două probe, una din Atlanticul din partea estică a Newfoundland-ului și cealaltă din Strâmtoarea Danemarcei, între Groenlanda și Islanda. Au stabilit că aisbergurile nu erau singurele purtătoare de reziduuri minerale.

După cum observase deja Heinrich, gheața marină formată la suprafața mărilor polare ar putea colecta praful adus de vânt de pe malurile din apropiere. Vânturile dinspre nord puteau apoi transporta gheața spre sud, până când aceasta se topea și elibera sedimentele. Rolul gheții marine a devenit mai clar atunci când cercetătorii și-au redirecționat atenția de la straturile din timpul glaciațiunii din sedimentele de pe fundul mării la straturile superioare, corespunzând depozitelor din

ultimii 10 000 de ani de la sfârșitul erei glaciare. Au fost găsite cu această ocazie surse ale reziduurilor minerale în Groenlanda și în insulele din Marea Norvegiei.

● Frigul și umezeala din Friesland de Vest

Bond și Lotti și-au confirmat intuiția că fenomenele de plutire cu ajutorul gheții au continuat și după glaciațiune. Erau mai puțin evidente în ceea ce privește cantitatea de material transportat, dar aveau cam același ritm și efectele lor asupra climei nu erau de neglijat.

Datările erau aproximative, dar s-a dovedit că cele mai recente astfel de episoade au avut loc în urmă cu aproximativ 350–600 de ani, în timpul perioadei cunoscută de climatologi drept „Mica Eră Glaciară”. O mare reducere a reziduurilor de minerale transportate în urmă cu 800 de ani a corespuns foarte precis cu binecunoscuta „Perioadă Caldă Medievală”. Iar fenomenele de deplasare prin intermediul gheții de acum 1 700 ani au coincis cu începutul „Perioadei Romane Reci”, și așa mai departe.

Alternanța de perioade calde și reci mergea mult în urmă, acestea succedându-se la intervale de aproximativ 1 340 de ani, prezentând o răcire masivă în urmă cu 8 300 ani, până la evenimentele de la sfârșitul ultimei ere glaciare. Încălzirea puternică indusă de variațiile mișcării Pământului pe orbită, ce a încheiat glaciațiunea, a fost brusc întreruptă de o nouă răcire severă în urmă cu 14 000 de ani, numită Younger Dryas. Aceasta a fost asociată cu un eveniment drastic de deplasare a reziduurilor de minerale prin intermediul gheții, de tip Heinrich – cu granule albe și tot ce implica acesta.

Unul dintre maximele evenimentelor de deplasare a gheții a fost identificat de echipa lui Bond ca având loc în jurul anului 800 î.Hr. Paleoecologul Bas van Geel din Amsterdam și-a dat seama, din cercetările făcute la un sit arheologic din Friesland de Vest, de suferințele locuitorilor din regiune provocate de frigul prelungit și de vremea umedă. Așezările de la o altitudine joasă și fermele au trebuit să fie abandonate pe măsură ce nivelul apei a crescut.

Această catastrofă a avut loc la trecerea din Epoca Bronzului către cea a Fierului. A coincis, de asemenea, cu o intensificare a radiației cosmice, generând o creștere a nivelului de radiocarbon, radioberiliu și de alte elemente radioactive în atmosferă, care erau adevărate simptome ale unei activități solare slabe. Van Geel era convins că acest lucru s-a întâmplat din cauza căldurii solare insuficiente.

„Această schimbare bruscă de climă s-a petrecut simultan cu o creștere subită a radiocarbonului, începând în jurul anului 850 î.Hr. și atingând apogeul în jurul anului 760 î.Hr.”, a spus el. „Simplul fapt că nimeni nu știe exact cum acționează aceste variații solare asupra climatului nu reprezintă o scuză pentru a le nega efectele.”

La început, Van Geel a avut de înfruntat scepticismul din partea celorlalți specialiști. Când Bond și colegii săi și-au prezentat rezultatele cercetării lor asupra

erei post-glaciare, în 1997, ei au comentat: „A fost, de asemenea, sugerată forțarea variabilității climatice la scală milenară de către schimbări ale capacității de emisie solară, dar acest mecanism este foarte controversat și nu s-a găsit nicio dovadă a unui ciclu solar care să dureze 1 400 – 1 500 de ani.” După nici patru ani, aceștia s-au răzgândit.

Începând cu anii 1960, alți oameni de știință au confirmat faptul că existau multe legături între intensitatea radiației cosmice și perioadele reci de pe Pământ, incluzând Mica Eră Glaciară și alte astfel de episoade marcate de deplasări ale ghețarilor din Europa și din America de Nord. În colaborare cu colegii olandezi și ruși, Van Geel a continuat studiul făcând o legătură între episoadele Dansgaard-Oeschger din timpul erei glaciare și variațiile cantităților de beriliu radioactiv descoperite în platforma glaciară a Groenlandei. S-au găsit corespondențe, dar au existat probleme în ceea ce privește calitatea și datarea informațiilor despre beriliul radioactiv; de asemenea, au rămas multe semne de întrebare referitoare la modul în care schimbarea vremii i-ar putea afecta rata de acumulare în gheață.

● Descoperirea unui ritm solar

Specialistul care cunoștea cel mai bine beriliul radioactiv era Juerg Beer de la Institutul Federal Elvețian pentru Știința și Tehnologia Apei. El s-a alăturat echipei Bond-Lotti. Probele de sedimente din Atlantic au fost supuse unei datări minuțioase cu carbon radioactiv. Astfel, evenimentele de deplasare a sedimentelor cu ajutorul gheții au putut fi comparate cu cea mai bună evaluare a datării și a magnitudinii specifice maximelor atinse de beriliul radioactiv din Groenlanda. Corespondențele s-au dovedit a fi surprinzător de bune.

Bond și echipa sa au declarat în 2001: „Corelațiile făcute de noi arată clar că în ultimii 12 000 de ani practic toate intensificările deplasărilor gheții (la fiecare 100 de ani) observate în Atlanticul de Nord corespund unui interval distinct de radiații solare variabile, și per total reduse.”

Era ca și cum am fi pus lupul solar paznic la oile climatice. Variațiile solare păreau a avea un rol major în influențarea climei, fiind responsabile de cele mai importante și potențial catastrofice schimbări naturale, cu excepția erelor glaciare. Oamenii de știință care studiau impactul gazelor cu efect de seră asupra climei s-au străduit să subestimeze rolul Soarelui și să minimalizeze schimbările climatice dinainte de era industrială. Voiau de fapt să spună că Perioada Caldă Medievală și Mica Eră Glaciară fuseseră doar niște evenimente locale, limitate doar la continentul european.

Această interpretare devenea dificil de susținut, în condițiile în care cauza principală era variabilitatea Soarelui ce afecta întreaga planetă. Echipa lui Bond putea da ca exemple modificări climatice larg răspândite în Atlantic, ajungând până în America de Sud și vestul Africii, deja corelate cu variațiile solare de către alți experți. Chiar mai mult, reducerea precipitațiilor în estul Africii a coincis cu

evenimentele de transport prin intermediul gheții și au influențat probabil și musonul din Asia.

Povestea deplasării reziduurilor minerale cu ajutorul blocurilor de gheață este departe de a se fi terminat. În afară de a ne îndrepta atenția către efectele globale ale unui Soare variabil, oamenii de știință se vor întreba acum, cu reînnoită insistență, cum își exercită acesta influența asupra climei Pământului. Ei trebuie să urmărească, de asemenea, să afle de ce variațiile Soarelui au un ritm de 1 400 de ani. Ar fi bine să știm exact în ce punct ne aflăm în cadrul acestor cicluri.

„Dacă Mica Eră Glaciară a luat sfârșit”, spunea Heinrich, „atunci următoarea răcire datorată deplasării aisbergurilor n-ar trebui să aibă loc mai devreme de 1 000 de ani. Să sperăm că așa va fi.”

- *Vezi de asemenea CRIOSFERA, SCHIMBĂRILE CLIMATICE și CURENȚII OCEANICI. Referitor la alte efecte ale variației solare, vezi LUMINA PĂMÂNTULUI.*

FONDUL DE MICROUND

În căutarea unui model pe tapetul cosmic

TOTUL S-A PETRECUT CA ȘI CUM GALILEO s-ar fi îndoit de existența lunilor lui Jupiter și și-ar fi reasamblat telescopul înainte de a-și face curaj să privească din nou. În 1964, Arno Penzias și Robert Wilson făceau experimente de radioastronomie cu o antenă ce se înălța ca o imensă basculantă deasupra fermelor de bostani din Holmdel, New Jersey. Aceasta detecta unde radio foarte scurte – microunde –, iar Laboratoarele Bell Telephone o construiseră pentru experimente cu primii sateliți de telecomunicații. Dar Penzias și Wilson au crezut că era ceva în neregulă cu antena lor receptoare, așa că au făcut-o bucățele și apoi au reasamblat-o la loc. Abia atunci au fost siguri de importanța descoperirii lor.

„Indiferent unde priveam, noapte sau zi, iarnă sau vară, acest fond de radiații apărea peste tot în atmosferă”, își amintea Penzias. „Nu avea legătură cu galaxia noastră sau cu alte surse cunoscute de unde radio. Părea mai degrabă că întregul Univers fusese încălzit până la o temperatură ce depășea cu 3 grade zero absolut.”

Anunțul din 1965 despre existența unui fond cosmic de microunde i-a lăsat pe toți consternați. Aproape toți uitaseră că teoreticianul de origine ucrainiană George Gamow și echipa sa din Washington DC preziseseră acest fond drept o urmă a Big Bang-ului, explozia originară în care se presupune că a luat naștere Universul. Nimeni din Occident nu luase în seamă sugestia unui tânăr fizician din Moscova, Igor Novikov, că acest fond ar putea fi detectat cu antena Laboratoarelor Bell.

„Ne-au luat-o înainte!”, a spus Robert Dicke echipei sale de la Princeton, în timp ce plecau de la Holmdel. Ei reinventaseră teoria lui Gamow și intenționau să înceapă propria cercetare a microundelor cosmice. Ceea ce i-a întristat mai mult a fost faptul că Laboratoarele Bell făcuseră descoperirea cu un radiometru pentru microunde inventat de Dicke.

Cei mai umiliți au fost susținătorii teoriei rivale a Big Bang-ului, teoria cosmo-logică a stării staționare, destul de populară încă la acea vreme. Pentru ei, microundele cosmice erau un fel de soli ai Apocalipsei, răspândind vestea că întreg spațiul a fost cândva umplut cu un gaz la fel de fierbinte ca suprafața Soarelui. Și aceasta nu era deloc o stare stabilă.

Povestea spune că în primii 400 000 de ani după Big Bang, Universul nu era altceva decât o ceață fierbinte. Particule libere cu sarcină electrică blocau înaintarea oricărei radiații asemănătoare luminii. Iar lumina nu era eliberată într-un univers transparent până când gazul nu se răcea suficient pentru ca nucleele atomice să captureze electronii liberi și să formeze astfel primii atomi. Marginea bancului cosmic de ceață fierbinte marchează limita cosmosului observabil cu ajutorul razelor asemănătoare cu cele ale luminii și creează un fel de tapet pe întregul cer, dincolo de cele mai îndepărtate galaxii.

Expansiunea Universului a răcit cerul de la 3 000 la 2,7 grade peste temperatura de zero absolut, iar lumina vizibilă, eliberată la 400 000 de ani de la începutul timpului, a fost redusă la microunde, dintre care cele mai puternice au lungimea de undă de aproximativ 1–2 milimetri. Deși este greu perceptibil, mai puțin pentru instrumentele moderne, fondul cosmic de microunde reprezintă 99% din totalul radiației din Univers.

Tot el pune în evidență imaginea „pe dos” a cosmosului. Când microundele au scăpat de ceață, Universul cunoscut nouă avea doar o miime din mărimea sa actuală. Dacă l-am fi privit din afară, el ar fi ocupat doar o mică porțiune din cer. Dar noi suntem în interiorul lui și microundele ne înconjoară de pretutindeni.

Radiometrele înregistrează gazele primordiale ca și cum s-ar afla într-o mașină a timpului. Aceasta se datorează expansiunii Universului, care decalează sosirea radiațiilor cu un interval mare de timp față de evenimentele care le-au produs. În orice direcție, sursa microundelor pare a se afla la o distanță imensă.

În fiecare an, expansiunea deplasează marginea bancului de ceață puțin mai departe, iar microundele detectate astăzi sunt vizibile pentru prima dată. Când a

venit momentul transparenței, Universul era mic iar ele erau destul de aproape de locul nostru actual. Dar le-au trebuit miliarde de ani pentru a ajunge la noi, învingând viteza de expansiune a cosmosului.

În 1969 se știa că o parte a cerului era cu două procente mai caldă decât cealaltă. Microundele cosmice ce veneau de dincolo de constelația Leului sunt cele mai calde dintre toate pentru că în această direcție Soarele și Pământul au cea mai mare viteză de mișcare, 375 de kilometri pe secundă. Cu o asemenea viteză ai putea ajunge la Lună într-un sfert de oră. Ea este rezultatul compunerii vitezei noastre pe orbită în jurul centrului galaxiei Calea Lactee cu viteza datorată propriei mișcări a galaxiei în spațiul cosmic. Temperaturile se modifică puțin de la un anotimp la altul, pe măsură ce Pământul se rotește în jurul Soarelui.

● Încurajare de la un satelit

Altfel, fondul de microunde părea lipsit de caracteristici, întocmai ca un tapet simplu. Eșecul de a detecta vreo variație de la un punct la altul de pe cer i-a îngrijorat pe teoreticieni. Dacă fondul de microunde n-ar avea nicio trăsătură specifică, noi n-ar trebui să fim aici.

Ce eșec spectaculos, dacă gazul primordial s-ar fi expansionat în totalitate și abia apoi s-ar fi răcit! Pentru ca să se nască stelele, galaxiile și chiar bipezii, forța gravitațională trebuia să capteze gazul și să inverseze local expansiunea cosmică. Iar pentru aceasta, avea nevoie de o mână de ajutor la formarea prealabilă a norilor de gaz relativ denși. Presiunea undelor sonore ar fi putut face acest truc, dar norii rezultanți ar fi apărut ca niște zone fierbinți, puțin mai calde decât împrejurimile lor.

Prin urmare, căutarea unui tipar pe tapetul cosmic a devenit o obsesie. Timp de un sfert de secol, „tapetul” a rămas cu încăpățănare gol. Utilizând instrumente foarte reci, cercetătorii căutau, fără succes, variații de temperaturi de mai puțin de o miime de grad, în timp ce teoreticienii își rodeau unghiile de nervozitate. Emisiile de microunde din galaxia noastră, Calea Lactee, aflate în prim-plan, au generat apoi o mare confuzie. Acestea au trebuit să fie mai întâi identificate și apoi scăzute din fondul de radiație cosmică.

Lucrurile au început din nou să evolueze în 1992, odată cu anunțarea rezultatelor satelitului NASA Cosmic Background Explorer (Exploratorul Fondului Cosmic) sau COBE. Lansat în 1989, acest satelit construit special în acest scop a scanat întregul cer. Analizarea rezultatelor obținute a arătat, prin teste statistice, existența unor caracteristici ale fondului de microunde.

„Cel mai mult mă uimește faptul că putem crea o poveste coerentă pornind de la Big Bang”, a remarcat John Mather de la NASA Goddard, inițiatorul și conducătorul proiectului COBE. Alte comentarii erau mai exaltate. „Este ca și cum ai vedea fața lui Dumnezeu”, a afirmat George Smoot de la Laboratorul Lawrence Berkley, care a prezentat Societății Fizice Americane rezultatele sub forma unei

hărți a cerului. Stephen Hawking de la Cambridge a numit-o „descoperirea științifică a secolului, poate chiar a tuturor timpurilor”.

Aceste remarci erau cam exagerate, deoarece rezultatele satelitului COBE erau efectiv într-o formă neprelucrată. Desigur că era o realizare extraordinară, confirmarea faptului că există diferențe de temperatură în fondul de microunde, după cum era de așteptat. Dar harta mult mediatizată nu indica cu certitudine care locuri de pe cer erau calde sau reci, sau cât de mari erau zonele fierbinți. Fiind un rezultat al statisticii, aparținea postexpresionismului abstract, ca un tablou de Jackson Pollock.

Exagerarea nehibzuită nu a diminuat speranțele altor specialiști de a continua cercetarea fondului de microunde. În consecință, mai multe echipe din întreaga lume s-au ocupat de aceasta. Primul raport despre detecția directă a caracteristicilor specifice a apărut în 1994, fiind prezentat de către astronomii britanici și spanioli care lucrau împreună pe insula spaniolă Tenerife. Scanând fâșii de cer cu ajutorul radiometrelor cu microunde, ei au descoperit porțiuni care aveau călduri comparabile. Una, de exemplu, se afla chiar la sud de Carul Mare (Ursa Major).

Privind cu mai multă atenție aceste „petice” ale fondului de microunde, cercetătorii care foloseau alte instrumente, aflați la sol sau în baloane dirijabile, au descoperit că zonele fierbinți păreau cam de două ori mai mari decât Luna Plină, ceea ce echivalează cu un grad de arc. (A nu se confunda gradele unghiulare, ce se referă la dimensiunile observate pe cer, cu variațiile de temperatură în grade Celsius.) Teoreticienii au fost încântați de această dimensiune, deoarece era exact ceea ce prevăzuseră ei pe baza celor mai simple presupuneri despre natura Universului.

În ianuarie 1999 un telescop italian cântărind două tone, numit Boomerang, a aterizat în siguranță pe gheata din Antarctica, după un zbor de zece zile la 38 de kilometri deasupra continentului – jumătatea distanței până în spațiu. Acesta fusese atârnat, fără a avea vreun om la bord, de un imens balon american. Călătoria a început lângă Muntele Erebus și s-a încheiat la 50 de kilometri de locul de lansare, după un zbor de 8 000 de kilometri.

În această aventură a fost implicată o echipă de 36 de cercetători din Italia, SUA, Marea Britanie și Canada. Boomerang a oferit astfel primele imagini ale modelului de pe tapetul cosmic, pe o porțiune destul de vastă de pe cer și cu suficiente detalii pentru a se deduce concluzii sigure. În 2000, ajungându-se într-un stadiu avansat al analizei, echipa a raportat că cele mai mari „petice” fierbinți aveau în medie lățimea de 0,9 grade unghiulare.

„E de-a dreptul emoționant să poți vedea unele dintre structurile fundamentale ale Universului în starea lor embrionară”, a spus conducătorul echipei italiene, Paolo de Bernardis de la Universitatea La Sapienza din Roma. „Lumina pe care am detectat-o de la ele a călătorit prin tot Universul înainte să ajungă la noi, și o putem distinge foarte bine de lumina generată în galaxia noastră.”

● Tunetul cosmic

De ce erau experții impresionați de peticele fierbinți de aproximativ un grad lățime? Să ne gândim la ce s-a petrecut în interiorul ceții fierbinți în cei 400 000 de ani înainte ca aceasta să se răcească îndeajuns pentru ca lumina să o străpungă. Se presupune că undele sonore, declanșate de vibrații pe când Universul era extrem de tânăr și de dimensiuni foarte reduse, se propagau prin ceață.

Tunetul cosmic a comprimat puțin gazul, așa cum fac și undele de presiune din aer, care transportă sunetul până la urechile noastre. Această compresie a crescut densitatea gazului, formându-se astfel zonele fierbinți în care gravitația a putut ulterior să-și îndeplinească misiunea de a direcționa gazul spre stele și galaxii. Și pentru a aprecia cât de mare ar trebui să fie cea mai mare zonă fierbinte, teoreticienii trebuie să calculeze distanța maximă pe care o putea parcurge o undă sonoră în cei 400 000 de ani dinaintea momentului în care lumina a ieșit din bancul de ceață.

Această distanță era suficient de mare pentru ca peticele fierbinți să fie late de un grad. Observațiile făcute cu ajutorul lui Boomerang și cu alte telescoape care confirmau această previziune nu erau doar satisfăcătoare, în sensul de a susține teoriile cercetătorilor. Ele au transmis totodată un mesaj important despre caracterul general al Universului și au anulat mai multe teorii cosmologice dintr-o lovitură.

Conform unor teorii, densitatea conținutului său este atât de mare încât Universul curbează toate razele de lumină și se comportă astfel ca o lupă. În acest caz, zonele fierbinți de microunde ar trebui să pară mult mai mari decât un grad de arc. În alte teorii, ele ar trebui să apară mult mai mici, deoarece Universul se expansionează atât de repede încât se comportă ca o lentilă care micșorează. Observațiile făcute cu telescoape au infirmat ambele posibilități.

Dimpotrivă, se pare că razele de lumină străbat cosmosul în linie dreaptă, cu excepția situațiilor când întâlnesc local mase mari. Cosmologii îl numesc Univers plan, fiindcă geometria sa este în acord cu legile geometriei plane, stabilite de Euclid cu 2 300 de ani urmă, care diferă de geometriile mai fanteziste, valabile pe suprafețe sferice sau de forma unei șei de cal. Caracterul plan presupune un echilibru între masa Universului și viteza de expansiune a acestuia, pe care îl pot oferi doar un număr redus de teorii.

Boomerang și celelalte experimente desfășurate în același timp prevesteau că, după secole de diverse speculații, zonele fierbinți din fondul cosmic de microunde ar putea conduce la o teorie exactă a Universului. Următorul pas era cercetarea cu atenție a zonelor mai mici. Cât de multe erau și ce dimensiuni aveau?

● Experiențe care confirmă teoriile

În timp ce zonele fierbinți de un grad unghiular reprezintă cea mai mare distanță pe care o puteau parcurge undele sonore în primii 400 000 de ani ai Universului, zonele mai mici sunt rezultatul reverberațiilor tunetului cosmic, ce produceau

armonice superioare, ca într-un instrument muzical. Acestea corespund maselor de gaz care se contractă sub acțiunea gravitației și vibrează în exterior din cauza presiunii radiațiilor, contractându-se apoi din nou. Aceasta se poate întâmpla în mai multe rânduri. Zonele ce rezultă pe tapetul cosmic ar trebui să aibă lățimea de o jumătate, o treime, un sfert și o cincime de grad.

Dimensiunile exacte și intensitățile relative ale zonelor mai mici depind, în mod strict, de natura cosmosului în care ne aflăm. Acesta determină tonalitățile muzicale pe care le generează comportamentul gazului într-un mod calculabil. De exemplu, într-un Univers foarte dens, ar trebui să fie vizibile pete de dimensiunea unei treimi sau unei cincimi de grad. Dar dacă o mare parte din această densitate se datorează materiei obișnuite, atunci zonele de o jumătate sau de un sfert de grad ar trebui să fie destul de rare.

Proporțiile celorlalți constituenți ai Universului, numiți materie neagră și energie neagră, au de asemenea efecte calculabile asupra reverberațiilor și deci asupra dimensiunilor zonelor. La fel și viteza expansiunii Universului. Dacă s-ar putea calcula cu precizie proporțiile relative ale zonelor, în spectrul diferitelor dimensiuni, am reuși să descifrăm cu ușurință numerele magice ale cosmologiei, care descriu Universul în general. Succesele obținute în numărarea acestor zone din fondul de microunde, în prima decadă a secolului al 21-lea, au început să reveleze codul genetic al cosmosului mângălit de microunde pe tapetul din jurul nostru – sau, cu cuvintele lui Smoot, pe chipul pistruiat al lui Dumnezeu.

Rezultatele preliminare ale statisticii micilor pete fierbinți de jumătate și de o treime de grad au fost anunțate în 2001. Ele au fost obținute prin analiza rezultatelor balonului Boomerang și celor ale unui alt instrument aflat la sol, Interferometrul cu Scală Unghiulară localizat la Polul Sud. Rezultatele au fost asemănătoare și compatibile cu ipoteza unui cosmos în care materia obișnuită reprezintă cam 5 procente din masa totală, materia neagră aproximativ 35 de procente, iar energia neagră cam 60 de procente.

Pentru unii astrofizicieni cel mai important aspect al acestor evenimente a fost faptul că rezultatele confirmau o teorie populară despre Big Bang, ce susținea începerea expansiunii foarte rapide, numită inflație, a Universului, încă din primul moment. „Cu aceste noi date, ipoteza inflației devine foarte puternică”, a afirmat John Carlstrom de la Chicago, conducătorul echipei responsabile cu telescopul de la Polul Sud. „Întotdeauna a fost convingătoare din punct de vedere teoretic. Acum avem și dovezi experimentale solide.”

Același instrument a făcut un alt pas major prin revelarea direcțiilor de vibrație ale microundelor, în două porțiuni de pe cer examinate timp de 200 de zile neîntrerupt. Polarizarea, cum o numesc fizicienii, apare pe direcțiile de mișcare ale gazului fierbinte care produce emisiile. „Aceasta va tripla cantitatea de informație pe care o putem obține de la fondul cosmic de microunde”, a spus John Kovac, un doctorand din echipă. „E ca și cum am trece de la televiziunea alb-negru la cea color.”

Pentru a supraveghea fondul de microunde pe întregul cer, era nevoie de noi sateliți detectori de microunde – succesori ai lui COBE, dar cu instrumente mult mai performante. Sonda Anizotropică cu Microunde a NASA, sau Wilkinson-MAP, a fost deschizătoare de drum în 2001, cercetând tot cerul pe cinci lungimi de undă din domeniul microundelor. Primele rezultate au apărut la începutul anului 2003. Misiunea spațială de lux pentru microundele cosmice revine satelitelui Planck al Agenției Spațiale Europene (ESA), numit așa după inițiatorul fizicii cuantice, Max Planck, și a cărui lansare a fost stabilită pentru anul 2007.

Cu peste 100 de detectoare ce funcționează pe nouă lungimi de undă, satelitul Planck va căuta particularități în fondul de microunde până la o șesime de grad. Aceasta echivalează cu aproximativ șapte grade pentru COBE. Unul dintre avantajele utilizării mai multor frecvențe este faptul că scăderea surselor de microunde din prim-plan, inclusiv din Calea Lactee, poate fi făcută cu mai mare precizie. Un altul este creșterea preciziei măsurărilor dimensiunilor zonelor.

„A început numărătoarea inversă pentru teoreticieni”, a remarcat Jean-Loup Puget de la Institutul Francez de Astrofizică Spațială, un membru important al echipei satelitelui Planck. „Până acum au putut inventa tot felul de universuri făcând diferite presupuneri. În 2009, când rezultatele măsurărilor realizate cu satelitul Planck vor fi anunțate, ne așteptăm să putem defini Big Bang-ul și statisticile vitale ale Universului cu o precizie uimitoare. Atunci vom ști care dintre teorii descrie mai bine realitatea, și dacă există o astfel de teorie.”

● Un bonus despre galaxii

Oamenii de știință se așteptau ca navele spațiale Wilkinson-MAP și Planck să descopere, de asemenea, mii de noi roiuri de galaxii la mare distanță în Univers, printr-un efect asupra microundelor cosmice. La începutul anilor 1970, Rashid Sunyaev și Yakov Zel'dovich de la Institutul de Cercetări Spațiale din Moscova au atras atenția asupra faptului că atunci când microundele întâlnesc gazul fierbinte ținut sub control de către gravitație în roiurile de galaxii, lungimile lor de undă se modifică.

Destul de curios, roiurile fierbinți ies în evidență ca niște pete reci pe hărțile fondului de microunde din cer. Aceasta este ceva neobișnuit în astrofizică. Scăderea efectului de prim-plan Sunyaev-Zel'dovich al roiurilor galactice este importantă pentru evaluarea corectă a fondului de microunde. Dar cercetătorii au primit un bonus important prin faptul că pot asocia direct petele din gazul primordial cu modelul distribuției galaxiilor cărora acestea le-a dat naștere, dezvăluind astfel complet arhitectura Universului.

- Pentru a afla mai multe informații despre originile cosmice și teoria inflației, vezi **BIG BANG**. O altă legătură dintre fondul de microunde și studiul roiurilor de galaxii este comentată în **ENERGIA NEAGRĂ**. Pentru o perspectivă mai generală, vezi **UNIVERSUL**.

FORMAREA PROTEINELOR



De la un dans impresionist
la un veritabil film molecular

ÎN 1973 un grup de producători de televiziune de la BBC, împreună cu Radio Sveriges, a împrumutat un aerodrom militar suedez și o sută de elevi de liceu. Salopetele special colorate aveau inscripționate diferitele litere ale codului genetic, sau numele diverselor tipuri de aminoacizi, subunitățile moleculei proteice. Alte culori indicau membrii „forțelor de muncă” moleculare.

Dirijați de profesorii lor și filmați de la înălțime și de pe sol, tinerii au interpretat un dans dinamic pe pista de decolare. Particularitățile lui principale erau lanțurile săltărețe formate de copiii care se țineau de mâini. Secvențele de litere reprezentau codul genetic, iar un lanț de aminoacizi alcătuia o proteină.

„Dansuri moleculare de acest fel sunt acum în desfășurare în fiecare parte a organismului tău”, spunea povestitorul. Spectacolul ilustra ceea ce se știa la momentul respectiv despre mecanismul unei celule vii, care traduce instrucțiunile unei gene pentru a forma o proteină. Privind retrospectiv, biologii moleculari descoperiseră foarte mult în doar douăzeci de ani de la elucidarea, în 1953, a structurii moleculei de acid dezoxiribonucleic, ADN.

La început, telespectatorii au putut vedea un lanț dublu răsucit de dansatori reprezentând gena. Acesta a fost desfăcut pentru a putea fi văzut codul genetic. Prea valoroasă pentru a acționa în mod direct, gena întâmpina, în schimb, dansatorii singuratici ce își căutau perechile chimice în secvența vizibilă de litere ADN. Nou-veniții au format un nou lanț, o transcriere a genei. Apoi, acest „ARN mesager” s-a desprins și a fugit în altă parte a pistei de decolare.

Acolo, mesagerul și-a croit drum printr-un grup diferit de copii reprezentând unul dintre producătorii de proteine ai celulei vii și materiile sale prime. Literele mesagerului s-au înșiruit, în vederea translației, în grupuri de câte trei. Fiecare triplet era un cuvânt al codului genetic. Fiecărui cuvânt trebuia să-i fie asociat grupul decodificator potrivit alcătuit din trei dansatori, dintr-un furnicar ce includea perechile corespunzătoare diferitelor cuvinte posibile.

Fiecare grup decodificator era ca un fel de camion ce transporta aminoacidul corespunzător cuvântului său. Ajungând la mesager, descărca aminoacidul, care

se adăuga unui lanț proteic de curând format. Apoi mesagerul pleca mai departe, pentru a așeza următorul triplet în dispozitiv de descifrare și pentru a chema la apel următorul aminoacid. În același timp, lanțul tot mai mare de proteine se dădea la o parte, ca și când s-ar fi aflat pe o bandă rulantă, pentru a aștepta adăugarea următorului aminoacid.

În final, mesajul original al genei a fost decodificat cu exactitate într-o proteină cu toate subunitățile sale, aminoacizii, așezate în ordinea potrivită, ținându-se de mâini și dansând în jurul producătorului proteinei. Pe măsură ce muzica creștea în intensitate, copiii au format o grămadă ca la jocul de rugby și și-au pliat lanțul lor de aminoacizi într-o moleculă proteică foarte compactă.

● Mașina de tors magică

Dintre toate denumirile tehnice pentru mișcările și moleculele reprezentate prin dansul respectiv, una demnă de luat în seamă este cea a producătorului de proteine. Ribozomul este unul dintre cele mai vechi mecanisme de pe Pământ, deoarece bacteriile îl foloseau cu aproximativ 4 miliarde de ani în urmă. Când dansatorii suedezi au fost filmați, ribozomii erau cunoscuți ca fiind niște cutii prin care moleculele mesager își croiau drum, și din care apăreau proteinele.

Microscopul electronic a oferit totuși oamenilor de știință o perspectivă destul de bună asupra ribozomilor, aranjați precum șirurile de mașini-unelte într-o fabrică. Într-o carte scrisă la începutul anilor 1980, specialistul în biologia celulară Christian de Duve de la Louvain călăuzește cititorii, în plan imaginar, prin trecătorile adânci ale unei celule vii. Acolo descoperă ceea ce el numește o mașină de tors magică. Fire mătăsoase de proteine cresc din pereții plați, membranoși, în care ribozomii sunt fixați precum niturile.

„Suntem prinși în mrejele unei mări de mătase mișcătoare. Ultimul fir al unui șir își atinge mărimea maximă și se desprinde, iar vârful unui nou fir își face apariția prin membrană undeva în partea din față.” Așa cum l-a descris de Duve, acest aspect al sistemului de fabricare în serie a proteinelor ar trebui să bucure inima oricărui director de fabrică. În spatele acestei membrane speciale dinăuntru celulei, o singură moleculă mesager își croiește drum printre zeci de ribozomi în același timp. Primul finalizează o copie a lanțului de proteine, în timp ce ultimul începe să realizeze o alta.

Intensitatea traficului nu este prea impresionantă. Micile ansambluri moleculare care alcătuiesc diverșii aminoacizi se adună în jurul fiecărui ribozom ca niște camioane ce se îngrămădesc pe cheiul de livrare, încercând să găsească tripletul corespunzător unde să poată parca și descărca. Drept urmare, proteina crește cu aproximativ patru aminoacizi pe secundă, ceea ce reprezintă un ritm lent conform standardelor moleculare.

Patru miliarde de ani de evoluție n-au reușit să reducă prea mult aceste ambuteiaje. Acest fapt nu este o neglijență, ci un indiciu al importanței translației

informației genetice în vederea formării proteinelor, în cazul tuturor vietăților. Este ceea ce te ține în viață în fiecare clipă, capabil să citești aceste rânduri. Deci, în timp ce Mama Natură și-a luat libertatea de a inventa ochi sau aripi, sau gheare după bunul ei plac, sistemul original al formării proteinelor nu a fost supus niciodată vreunor schimbări majore.

Cu toate acestea, la ribozomi există unele schimbări. Unele variații mici și neînsemnate ale compozițiilor lor moleculare le permit evoluționiștilor să urmărească întreaga istorie a vieții, comparând ribozomii organismelor vii actuale. Anumitor zone din molecule nu le este niciodată permis să se modifice, iar acestea le indică cercetătorilor zonele-cheie active ale ribozomilor.

O modificare mai importantă diferențiază ribozomii din bacterii de ribozomii puțin mai mari din organisme mai complicate. Unele antibiotice, printre care streptomicina și tetraciclină, stopează sau creează confuzii în formarea proteinelor în bacterii, astfel încât acestea sunt distruse. Datorită unor mici diferențe la nivelul ribozomilor, aceste antibiotice nu au același efect asupra pacienților.

● Producătorul de proteine în acțiune

Două decenii de efort intens, începând de la sfârșitul anilor 1970, au fost necesare pentru a fi descoperite modul în care este construit ribozomul și modul său de funcționare. La scară umană, este extrem de mic – 50 000 de ribozomi așezați unul lângă altul ar ocupa un milimetru. Însă reprezintă o concentrare foarte mare de molecule, alcătuită din peste 400 000 de atomi grupați în zeci de proteine, împreună cu trei tipuri speciale de acid nucleic. Acestea din urmă nu sunt ADN, ci ARN, acidul ribonucleic ce apare, de asemenea, în moleculele mesager care transcriu informația genetică.

Într-un ribozom există două subunități, numite 50S și 30S. Ele sunt unite prin punți moleculare, iar întregul proces de translație a informației genetice și de formare a proteinelor are loc în spațiul dintre ele. Pentru a fi cercetat în mod complet, biologii moleculari au trebuit să realizeze cristale de ribozomi sau de subunități ale lor, pe care să le analizeze cu ajutorul razelor X.

Specialiștii s-au ferit de această sarcină extrem de dificilă până când Ada Yonath de la Institutul Weizmann din Israel și Heinz-Günther Wittmann de la Institutul Max Planck pentru Genetică Moleculară din Berlin le-au deschis calea. Yonath a descoperit prin metoda „încercare și eroare” cum să realizeze cristale stabile de subunitatea mai mare, 50S, cum să le protejeze la temperaturi scăzute, și cum să le adauge clusteri de atomi grei care să servească drept puncte de reper atunci când analizează cristalele cu ajutorul razelor X. Însă când a prezentat rezultatele inițiale, în 1980, imaginile erau foarte neclare. „Toți au râs de mine”, și-a amintit Yonath ulterior.

Mai târziu ea s-a alăturat grupului de cercetare de la Institutul Max Planck pentru Biologie Moleculară Structurală din Hamburg. Marat Yusupov și soția lui,

Gulnara, care urmaseră un drum la fel de dificil ca doctoranzi la Institutul de Cercetare a Proteinelor din Pușkino, Rusia, au emigrat la UC Santa Cruz în căutarea unor condiții de cercetare mai bune. Acolo au perfecționat metode de cristalizare a ribozomilor întregi, ceea ce s-a dovedit a fi mai ușor dacă o moleculă-mesager și un camion transportând un aminoacid erau la locul potrivit.

La Santa Cruz, Harry Noller și colaboratorii săi au început să analizeze cristalele ribozomilor întregi cu ajutorul razelor X. Peter Moore și Thomas Steitz de la Yale s-au concentrat pe subunitatea 50S, iar Venki Ramakrishnan și echipa sa de la Laboratorul de Biologie Moleculară din Marea Britanie și-au orientat cercetarea asupra studiului subunității 30S în cele mai mici detalii. Rezultatul a fost un torent de lucrări științifice, între anii 1999–2001, care au descris structura ribozomului în cazul bacteriei *Thermus thermophilus*.

Existau considerente de ordin atât medical cât și tehnic pentru preferarea versiunii bacteriene. Rezistența la antibiotice a bacteriilor ajunsese într-un moment de criză. „Această cercetare nu ne ajută doar să înțelegem câte dintre antibioticele cunoscute sunt eficiente, ci ne ajută, de asemenea, să înțelegem principiile anumitor tipuri de rezistență”, afirma Ramakrishnan. „Sperăm că aceasta ne va permite să concepem noi antibiotice, care să învingă problemele tot mai mari ale lumii.”

Mult mai interesantă decât structura precisă a celor 54 de molecule proteice diferite și a celor trei tipuri de acid nucleic din întregul ribozom a fost descoperirea modului său de funcționare. Pe măsură ce tot mai multe detalii grafice se afișau pe monitoarele computerului lor, cercetătorii au putut vedea exact când se infiltra în mecanism molecula-mesager genetic. Ei au descoperit cadrul de citire în care se prezentau tripleții codului genetic, localizat pe o punte ușor accesibilă dintre subunitățile ribozomului. Erau, de asemenea, indicați cu precizie și cleștii care susțineau lanțul tot mai mare de proteine în timp ce camionul descărca aminoacidul ce era adăugat lanțului.

Din ce în ce mai fascinați, biologii moleculari au putut vedea ribozomul modificându-se și mișcându-se în timpul funcționării sale. De exemplu, echipa lui Ramakrishnan a descoperit că un triplet de baze din ribozom își schimbă orientarea pentru a simți forma cancelurii dintre tripletul din molecula mesager și tripletul camionului care transportă aminoacidul. Numai dacă potrivirea este perfectă, ribozomul va accepta aminoacidul. Echipa lui Noller a descoperit că punțile dintre subunitățile 50S și 30S își modifică, de asemenea, forma în timpul procesului de formare a proteinelor. Ele modifică distanța și ajută la controlul moleculei mesager vizitatoare și al traficului camioanelor.

„La ora actuală nu avem decât câteva fotografii”, a spus Noller. „Scopul nostru final este însă un film al ribozomilor în acțiune.” Antibioticele pot stopa activitatea ribozomilor la diferite momente ale ciclului formării proteinelor pentru a genera imaginile filmului. Deși presupune multă muncă, realizarea filmului întregului ciclu este, probabil, doar o chestiune de timp.

Apariția unei bucăți finisate de mătase proteică din ribozom nu reprezintă finalul procesului formării proteinelor. Acțiuni chimice ulterioare, ale altor instrumente moleculare, pot modifica proteina brută în multe moduri. Ea poate fi ajustată sau tăiată în două. Îi pot fi atașate în anumite zone orice tip de compus chimic specializat. Molecule de glucide sau de lipide, sau chiar o întreagă proteină pot fi sudate proteinei brute. Sunt adăugate de asemenea și adrese care indică destinația proteinei finisate în celula vie.

Descoperirea tuturor acestor posibile modificări „post-traducătoare” ale proteinelor și a modului în care sunt realizate le va da de lucru biologilor mulți ani de acum înainte. Dar inițiativa din ultimii ani ai secolului al 20-lea de a înțelege principiile formării proteinelor de către ribozomi arată faptul că până și un sistem foarte complicat poate fi înțeles până la urmă. De asemenea, ne face să ne minunăm de cât de inteligenți pot fi 500 000 de atomi lipsiți de rațiune atunci când sunt aranjați așa cum trebuie.

- Pentru mai multe detalii despre analiza moleculară și despre plierea proteinelor, vezi **FORMELE PROTEINELOR** și **PROTEOMELE**. Pentru posibilele implicații ale componentelor-cheie ale ribozomului, vezi **ORIGINEA VIEȚII**. Pentru o altă revelație despre funcționarea complexelor proteice, vezi **FOTOSINTEZA**.

FORMELE PROTEINELOR

Așteptând cu nerăbdare să le vedem dansând
în ritm de shimmy

ÎN PREAJMA ANULUI 2012, oamenii de știință dornici să cerceteze moleculele vieții cu cele mai strălucitoare raze X din lume s-ar putea să le găsească prin aglomerația de ferme din Schleswig-Holstein, de lângă Ellerhoop. Modestul oraș industrial a atras atenția lumii științifice deoarece se găsește aproape de mijlocul unei linii de 33 de kilometri ce se întinde la nord de Hamburg. Laboratorul de fizica particulelor din acel oraș, DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron – Sincrotronul German cu Electroni), a marcat traseul liniei Ellerhoop în speranța de a găzdui următorul accelerator uriaș de particule din lume.

Fizicienii visează o imensă hală experimentală la Ellerhoop, unde se vor ciocni frontal fascicule de electroni și pozitroni, sau antielectroni, ce provin de la două

tunuri opuse, fiecare având o lungime de 16,5 kilometri. Sarcina principală a acceleratorului TESLA (Teravolt Energy Superconducting Linear Accelerator) era obținerea electronilor și pozitronilor având energii combinate echivalente cu peste un milion de milioane de volți. Însă în concepția proiectului era inclus un plan semiindependent de a pune la dispoziția biologilor și specialiștilor în fizica materialelor raze X foarte specializate, pentru a le oferi noi perspective asupra peisajelor lor atomice.

Fascicule de electroni superenergetici vor trece prin tunele în care vor intra în câmpuri magnetice care își schimbă continuu direcția. Forțați să oscileze, electronii vor emite raze X, într-un mod asemănător unui laser, producând explozii de o putere, puritate și rapiditate uluitoare. Un flash ce durează mai puțin de o milionime de milionime de secundă va iradia o țintă cu peste un milion de milioane de particule asociate razelor X, sau fotoni, fiecare având același spectru energetic.

Biologii și specialiștii în fizica materialelor pot învăța cum poate fi utilizat un astfel de accelerator folosind un laser cu raze X mai mic începând din anul 2004, într-o ambianță familiară. Fizicienii din Hamburg le-au pus deja la dispoziție razele X provenite de la electronii care se rotesc într-un sincrotron – un tip diferit de accelerator – de la HASYLAB, Hamburger Synchrotronstrahlungslabor. Laboratorul European de Biologie Moleculară avea un avanpost acolo, undeologii puteau să aducă probele pentru a fi analizate.

„Biologii sunt extraordinar de impresionați de laserele noastre cu raze X,” a spus Jochen Schneider, fizicianul care conducea HASYLAB. „Ei vor putea observa viața la scară atomică așa cum nu a mai fost posibil până acum, și vor putea vedea cum se modifică formele moleculelor în timpul activității lor.”

Între primul laser cu raze X din Hamburg și mult așteptatul dispozitiv din Ellerhoop este lansată o nouă provocare la Menlo Park, în California. Acolo, Centrul Acceleratorului Liniar de la Stanford (Stanford Linear Accelerator Center) urmează să pună în funcțiune, în 2008, propriul laser cu raze X folosind acceleratorul liniar existent ce are o lungime de trei kilometri. Va fi primul din noua generație de dispozitive cu raze X foarte puternice.

„Stanford conduce categoric în acest moment în ceea ce privește construirea unui laser puternic cu raze X”, a afirmat în 2002 Janos Hajdu de la Uppsala, un biochimist implicat activ în ambele proiecte, cel american și cel german. „Însă avem neapărat nevoie de un laser mare cu raze X în Europa. Să nu uităm că folosirea acceleratoarelor mari de particule în cercetarea biologică a început la Hamburg.”

În 1971, Kenneth Holmes de la Institutul Max Planck pentru Cercetare Medicală a fost primul care a folosit razele X obținute de la un sincrotron, acceleratorul DESY, pentru a examina o proteină din mușchiul unei insecte. Razele X erau atât de inofensive și atât de ușor de controlat, prin comparație cu cele obținute din dispozitivele obișnuite, încât activitatea de pionierat a lui Holmes a dat startul

unei importante industrii pentru cercetarea științifică. Au fost special construite, în întreaga lume, laboratoare pentru obținerea radiațiilor de sincrotron. De ele au beneficiat specialiștii în fizica materialelor, precum și cei care studiau moleculele biologice.

● Motive ale structurilor tridimensionale

La mijlocul secolului al 20-lea, cristalografii din Marea Britanie care utilizau raze X începuseră să deducă formele biomoleculelor, folosind generatoare obișnuite de raze X. Cristalele materialelor împrăștiau razele X și produceau pete obscure pe filmul fotografic, în funcție de aranjamentele atomilor. Cu dispozitive primitive și computere rudimentare, interpretarea petelor a fost o muncă dificilă, însă a impulsionat atât biologia moleculară cât și genetica modernă.

Dorothy Hodgkin de la Oxford a descoperit structura penicilinei în patru ani (1946) și a vitaminei B₁₂ în opt ani (1956). Colegii ei de la Londra și de la Cambridge cunoșteau structura materialului genetic ADN în 1953. Se considera că structura proteinelor este dificil de determinat, însă cei de la Cambridge au descoperit primii, în 1959, structura mioglobinei, o moleculă care transportă oxigenul în mușchi. Aceasta are aproximativ 10 000 de atomi, iar forma sa complicată a fost dedusă de specialiști prin stabilirea pozițiilor relative ale celor 2 600 de atomi diferiți de atomii de hidrogen. Curând după aceea a urmat hemoglobina, relativ asemănătoare, însă de patru ori mai complexă.

Viața se bazează pe structurile tridimensionale ale proteinelor. Multe dintre ele sunt enzime, unelte chimice la scară moleculară. Fiecare îndeplinește o anumită sarcină, asemenea mașinilor-unelte din liniile de asamblare. Pe măsură ce formele tot mai multor proteine au devenit cunoscute, biologii au descoperit modul de funcționare al enzimelor specifice și al altor proteine active.

Ei pot observa adeseori o fisură în structura enzimei, care e în mod perfect prelucrată și reglată chimic pentru a apuca molecula care este ținta acțiunii enzimei. Cercetătorii pot determina forma pe care o are enzima combinată cu ținta, în miezul acțiunii. Seamănă cu o menghină care ține o piesă de prelucrat.

Enzimele cu funcții foarte diferite au câteodată compoziții chimice asemănătoare. Aceasta dovedește că ele au, în mod evident, același strămoș genetic. Chiar și micile restructurări evolutive ale părților active pot modifica rolul enzimei, fie prin modificarea activității catalitice într-un situs de legare deja existent, fie prin crearea unui nou situs.

Clarificările aduse de cazurile particulare adâncesc și mai mult problema generală. Cu cât forma este mai potrivită, cu atât mai uluitoare este capacitatea moleculei proteice de a o adopta corect de fiecare dată. O enzimă este o fibră fină care apare dintr-un mecanism molecular, iar apoi se pliază spontan într-un ghem încâlcit, cu fisura sa activă și grupările chimice plasate la locul lor pe suprafață.

Energia care pune în acțiune plierea este furnizată de apa din celula vie, care influențează de asemenea și rezultatul. Anumite părți ale lanțului proteic agreează apa și de aceea este indicat să fie așezate la suprafață. Alte părți sunt hidrofobe, ca uleiul în apă, și vor căuta să se refugieze în interiorul sferei proteice. În timp ce are loc plierea, asistenții moleculari, numiți chaperoni, pot ecrana părțile hidrofobe de apa din celulă. Aversiunea față de apă se traduce printr-o stare mai stabilă, cu energie mai scăzută, când procesul plierii este încheiat.

Plierea corectă a proteinelor este atât de importantă pentru menținerea vieții încât regulile care stau la baza ei sunt uneori numite al doilea cod genetic. De-a lungul celei de-a doua jumătăți a secolului al 20-lea, biologii moleculari au depus un efort susținut pentru a-l citi. Se consideră că au reușit dacă ar putea prezice forma unei molecule proteice din secvența de aminoacizi care formează fibra primară.

Primele indicii au apărut încă de la început din trăsăturile standard descoperite la majoritatea proteinelor, numite α -elice și β -benzi. În cazul α -elicei, fiecare aminoacid formează o legătură cu cel de-al patrulea aminoacid în ordinea în care se află în lanțul proteic, construind o scară în spirală. În cazul β -benzii, un rând de aminoacizi se leagă de un alt rând dintr-o altă parte a lanțului, precum rândurile de dansatori într-un dans popular. Rândul adiacent poate fi o parte apropiată a lanțului ce s-a pliat din nou pe ea însăși, sau dintr-o parte complet diferită a lanțului încurcat.

Părți mari și importante ale proteinei par a fi, în general, mai dezordonate. Acestea trebuie să aibă un sens, dat fiind că evoluția le-a protejat. Fragmente ale structurii, numite motive, apar la proteine diferite și reprezintă o bază destul de bună pentru a prezice forma pe care o vor lua unele părți ale proteinei. Cel mai des întâlnit motiv este motivul α/β TIM toroidal, numit astfel după proteina (triozo-fosfat-izomeraza) în care a fost descoperit, în 1975. Acesta este alcătuit din 250 de aminoacizi și apare în foarte multe enzime.

● Ingineria proteinelor, naturală și inventată

Rezolvarea problemei plierii proteinelor nu constă doar în a defini forma finală. Aceasta trebuie înțeleasă ca un proces activ, secvențial, foarte complicat, dar repetabil și care se realizează în câteva secunde sau minute. Progrese în acest sens s-au realizat extrem de lent. În 1998, Steven Chu de la Stanford, proaspăt laureat al Premiului Nobel pentru Fizică pentru cercetarea răcirii atomilor cu ajutorul razelor laser, a decis că acesta era un domeniu în esență neexplorat și care merita cercetat. „Suntem abia la început”, a spus Chu. „Toți suntem abia la început.”

Albert Fersht de la Cambridge a fost mai optimist. Dacă oamenii de știință ar putea înțelege proteinele și comportamentul lor ca enzime, atunci ar putea inventa enzime noi în scop industrial sau medical. Comparativ cu catalizatorii creați de om, enzimele naturale sunt incredibil de eficiente, mai ales prin faptul că realizează exact ceea ce ar trebui să realizeze, nici mai mult, nici mai puțin, fără efecte secundare nedorite.

„Interacțiunea dintre specialiștii în ingineria proteinelor, cristalografi și teoreticieni va aduce la lumină, în cele din urmă, legile ce determină structura tridimensională a proteinelor”, a prezis Fersht. „Apoi, când va fi necesară catalizarea unei anumite reacții, un computer va lista secvența de gene necesară, iar specialiștii în ingineria proteinelor vor realiza enzima.”

Fersht a înființat Centrul de Ingineria Proteinelor de la Cambridge. Pentru a putea face progrese deși la multe din întrebările fundamentale nu fusese găsit un răspuns, Fersht a început să se ocupe de evoluția moleculară dirijată. Prin aceasta el înțelegea adaptarea enzimelor naturale existente la noi scopuri, la fel cum procedase evoluția timp de miliarde de ani.

Echipa sa a realizat un mare număr de variante mutante ale enzimei TIM-toroidale și le-a testat în culturile de bacterii, astfel încât noile molecule folositoare să poată supraviețui. În 2000, echipa de la Cambridge a sintetizat o enzimă care îndeplinea o funcție practică, diferită de cele ale predecesoarelor sale. În plus, era de șase ori mai eficientă decât enzima destinată de Natură să îndeplinească aceeași funcție.

La Yokohama, specialiștii de la Centrul de Cercetare a Genomurilor al RIKEN (Institutul de Cercetare pentru Fizică și Chimie) au inventariat tot ceea ce se descoperise până atunci la nivel mondial referitor la formele părților active ale proteinelor. Ei au clasificat aproximativ 1 000 de tipuri fundamentale de pliere a proteinelor, și aproximativ 10 000 de subtipuri, ale căror funcții moleculare stabileau modul de acțiune al fiecărei proteine. Se presupunea că această enciclopedie, cum a fost numită de specialiști, va îmbunătăți predicțiile despre formele și funcțiile proteinelor, pornind de la secvențele de aminoacizi cunoscute.

Progresele geneticienilor în descifrarea înzestrării genetice complete a tot mai multor specii – genomurile lor – i-a impulsionat pe specialiști să accelereze studiul, pentru a înțelege ce făceau toate acele gene. În acest scop, echipa de la Yokohama a conceput o modalitate de formare a unei proteine în cantitate mare pornind de la instrucțiunile genetice, într-un vas de sticlă, folosind ribozomi liberi, echipamentul molecular ce are funcția de formare a proteinelor în toate celulele vii. De asemenea, ei au instalat șiruri de dispozitive puternice pentru a descoperi formele proteinelor cu ajutorul rezonanței magnetice nucleare – un alt dar al fizicii pentru biologie.

Rezonanța magnetică nucleară a fost folosită la scară largă în primul rând în imagistica medicală, însă biologii au adoptat-o pentru analiza proteinelor. Nucleele atomilor oscilează precum un pendul giroscopic în jurul direcției câmpului magnetic local. Dacă sunt ciocnite lateral de o undă radio, ele vor sări înapoi în șir, emițând unde radio proprii. Fiecare tip de nucleu emite unde cu o frecvență caracteristică, dar mediul chimic al atomului care îl conține ajustează puțin frecvența.

Computerele pot converti distribuțiile frecvențelor emise în forme ale proteinelor. Această tehnică are avantajul că proteinele pot fi analizate în soluție, un

mediu mult mai natural decât cristalele folosite în analiza clasică cu raze X. În 2002, acțiunea echipei de la Yokohama în ceea ce privește analiza proteinelor folosind rezonanța magnetică nucleară a fost cea mai amplă de acest gen din lume.

● „Se prăbușește un zid”

Analiza cu raze X a rămas modalitatea de a obține detaliile cele mai precise ale formelor proteinelor, până la nivel atomic. Cu ajutorul radiației X de sincrotron și al computerelor mult mai performante au fost descifrate rapid multe din moleculele biologice mai simple. S-au făcut eforturi eroice pentru descifrarea moleculelor foarte complicate și a grupărilor de molecule. La sfârșitul secolului al 20-lea, acestea au inclus aparatul fotosintetic folosit pentru creșterea plantelor și înșiși ribozomii ce formează proteinele.

Marile dificultăți au persistat însă. Înainte ca o biomoleculă să poată fi analizată prin metoda clasică a razelor X, ea trebuie să fie cristalizată. În multe cazuri acest lucru s-a dovedit dificil sau imposibil. Mai mult, razele X prezintă ele însele un risc biologic deoarece afectează delicatele molecule ale vieții, iar probele folosite în cristalografia cu raze X nu fac excepție.

Razele X de mare intensitate generate de laser vor distruge molecula-țintă, dar experimentatorii speră că acest fapt nu se va produce înainte de a obține o imagine. Chiar și o singură moleculă ar fi de ajuns, eludând astfel problema producerii cristalelor. Grupările de molecule, inclusiv virusuri întregi, vor fi de asemenea analizate prin imaginea-flash. O variantă tehnică constă în a introduce celule întregi în gheață extrem de rece. O altă variantă este pulverizarea amestecurilor de proteine, virusuri sau părți ale celulelor printr-un dispozitiv de sortat electric care direcționează elementul ales în fasciculul de raze X.

Mult mai captivantă este posibilitatea de a vedea structuri mari și poate chiar moleculele înăuntrul celulelor lor. Acolo este cel mai probabil ca ele să se găsească într-o configurație cu adevărat naturală, și să-și modifice formele în moduri ingenioase pe măsură ce interacționează cu alte molecule. Experimentele inteligent concepute vor valorifica succesiunea rapidă a imaginilor-flash, făcând pentru molecule ceea ce filmele au făcut pentru mișcările animalelor cu un secol în urmă, arătând cum dansează proteina, cu mișcări shimmy, când își începe activitatea și, de ce nu, acestea ar putea rezolva chiar și problema plierii proteinelor.

„Se prăbușește un zid dezvăluindu-ne astfel o priveliște nemaivăzută înainte”, a afirmat Janos Hajdu de la Uppsala. „Putem doar bănuî ce vom descoperi, însă laserele cu raze X ne vor conduce într-un domeniu nou și extraordinar al biologiei celulare și moleculare. Ceea ce vom putea realiza acolo nu va avea alte limite decât cele impuse de creativitatea și imaginația noastră.”

- Pentru a afla mai multe detalii despre proteine, vezi **PROTEOMELE, FORMAREA PROTEINELOR, FOTOSINTEZA și TRAFICUL CELULAR**. Pentru dovezi că „al doilea cod genetic” e mai mult decât o metaforă, vezi **PRIONII**.

FORȚA ELECTROSLABĂ

Cum și-a redobândit Europa gloria veștejită,
cu ajutorul fizicii particulelor



UNUL DIN AVANTAJELE reporterilor specializați în domeniul științei este că au șansa de a afla cele mai noi idei direct de la oamenii care fac descoperirile științifice. În 1976, după ce a vizitat o sută de experți din Europa și SUA, un reporter care scria scenariul pentru un documentar de televiziune despre fizica particulelor a aflat în detaliu care erau cele mai importante experimente și ce anume preziceau teoreticienii. Și totuși, el nu a înțeles aceste idei suficient de profund pentru a le putea explica în cuvinte simple publicului telespectator. De aceea reporterul i-a cerut ajutorul lui Abdus Salam, un fizician teoretician pakistanez care se afla în Londra la vremea aceea.

În sala de consiliu principală a Colegiului Imperial, convorbirea de o oră promisă s-a extins la trei ore, timp în care conversația s-a învârtit în jurul subiectului. Discuția se tot întorcea la fotoni, care sunt particule de lumină, la electroni, niște mici particule încărcate negativ, și la pozitroni, care sunt antielectroni cu sarcină pozitivă. Relația dintre aceste particule era fundamentală pentru susținerea ideii lui Salam referitoare la modalitatea de unificare a forței electrice cu o altă forță din Univers, forța nucleară slabă, cea care transformă o formă a materiei în alta.

Momentul decisiv a venit atunci când reporterul a început să comenteze: „Spuneți că un foton se poate transforma într-un electron și într-un pozitron...”, și Salam l-a întrerupt. „Nu! Spun că un foton este un electron și un pozitron.” Atunci reporterului parcă i s-a luat un vâl de pe ochi și a văzut splendoarea noii fizici, care avea să se dezvolte în curând sub forma așa-numitului Model Standard.

În secolul al 19-lea materia era percepută într-un fel, în timp ce forțele ce acționau asupra ei – gravitația, electricitatea, magnetismul – erau privite ca fiind la fel de diferite de materie precum este vântul de valurile mării. În primele decenii ale secolului al 20-lea au fost puse în evidență alte două forțe universale. Una, deja menționată, era forța nucleară slabă, alchimistul cosmic cel mai bine cunoscut sub denumirea de radioactivitate. Cealaltă noutate era forța nucleară tare, cea care menține împreună constituenții nucleelor atomice.

Pe măsură ce natura particulelor subatomice și diferitele interacțiuni dintre ele au devenit tot mai clare, diferența dintre materie și forțe a început să dispară.

Ambele erau constituite din particule – fie particule de materie sau particule-mesager. Prima forță justificată cu ajutorul particulelor a fost forța electrică, pe care James Clerk Maxwell o unificase deja cu magnetismul, la Londra, în 1864. Maxwell nu știa nimic despre particule, și cu toate acestea a stabilit o legătură esențială între electromagnetism și lumină.

Până în 1930, fizicienii au bănuir că lumina sub formă de particule – fotonii – acționează ca purtătoare a forței electrice. Fotonii nu pot fi evidențiați ca lumină vizibilă sau invizibilă în sensul obișnuit. În schimb, sunt particule virtuale ce roiesc ca un fel de nor în jurul particulelor de materie făcându-le iridescente, într-un sens abstract. Fotonii virtuali au un timp de viață foarte scurt datorită principiului incertitudinii din teoria cuantică. Ei pot să apară și să dispară atât de repede încât nici Mama Natură nu are timp să observe aceasta.

Particulele de materie cu sarcină electrică, de exemplu electronii, pot exercita forțe electrice reciproce prin schimbul de fotoni virtuali. La început această idee a părut nebunească sau dificil de utilizat, deoarece calculele conduceau la valori infinite pentru masa și sarcina electronilor. Totuși, în 1947, micile diferențe dintre lungimile de undă ale luminii emise de atomii de hidrogen au confirmat realitatea norului de fotoni virtuali.

Apoi, simultan, Sin-Itiro Tomonaga la Tokyo, Julian Schwinger la Harvard și Richard Feynman la Cornell au îmblânzit înșelătoarea matematică a acestei probleme. Rezultatul a fost teoria forței electrice numită electrodinamică cuantică (prescurtată EDC). Aceasta a devenit cea mai precis verificată teorie din istoria fizicii.

Și acum să revenim la convingerea lui Salam că un foton este alcătuit dintr-un electron și un antielectron. Cel de-al doilea termen este folosit aici în loc de pozitron, pentru a accentua rolul permanent al antimateriei în povestea forțelor universale. Dovada structurii compuse a fotonului este faptul că el se poate descompune în particule reale, electron și antielectron, dacă acesta posedă suficientă energie, într-un fascicul de raze cosmice de exemplu.

Particula-mesager a forței electrice este deci alcătuită din aceleași componente ca și materia asupra căreia acționează. Astfel, la începutul anilor 1960, s-a conturat ideea remarcabilă că și particulele-mesager ale altor forțe universale ar putea fi rezultatul unor combinații de particule și antiparticule.

● Distrugătoarea de stele și încălzitoarea rocilor

Forța nucleară slabă nu este nici pe departe atât de plictisitoare și inutilă pe cât pare. Dimpotrivă, ea joacă un rol indispensabil în reacțiile nucleare prin care Soarele și stelele produc energie. Și poate face o stea țândări în cataclismul nuclear al unei supernove, în urma căruia se formează un mare număr de neutrini – particule fără sarcină electrică.

Neutrinii pot interacționa cu materia numai prin intermediul forței nucleare slabe și, prin urmare, sunt particule timide, fantomatice, care traversează Pământul aproape neobservate. Dar neutrinii eliberați într-o supernovă sunt atât de numeroși încât oricât de mică ar fi șansa interacțiunii cu oricare neutrino în parte, materia stelei condamnate este împrăștiată în spațiu.

Mai aproape de casa noastră, forța nucleară slabă contribuie la încălzirea interiorului Pământului – și deci la activarea vulcanilor, a cutremurelor și a derivei continentelor – printr-o formă de radioactivitate numită dezintegrare beta ce apare în atomii din roci. Aici forța nucleară slabă acționează în nucleeele atomice alcătuite din particule încărcate pozitiv – protoni și din neutroni – particule neutre. Forța slabă poate transforma un neutron într-un proton, cu un electron și un antineutrino ca produse derivate de reacție. Alternativ, ea transformă un proton într-un neutron, prin emisia unui antielectron și a unui neutrino din nucleu.

Întocmai cum, prin intermediul radiației cosmice, știm că particula-mesager a forței electrice constă dintr-un electron și un antielectron, tot astfel particulele emise de atomii radioactivi sugerează că particula-mesager a forței slabe este alcătuită dintr-un electron și un antineutrino – unul sau altul fiind normal, iar partenerul lui, anti. Singura diferență față de foton este că una dintre particule nu are sarcină electrică. În timp ce sarcinile electronului și antielectronului se anulează în foton, particula-mesager a forței slabe, numită boson W, are sarcină electrică pozitivă sau negativă.

O altă posibilitate controversată la care s-au gândit Salam și alții în anii 1960 implica existența unei alte particule-mesager a forței slabe, numite boson Z, o particulă fără sarcină electrică. Acesta ar fi ca un foton, particula-mesager a forței electrice, doar că ar fi capabil să interacționeze cu neutrinii. Fotonii obișnuiți nu pot face asta, deoarece neutrinii nu au sarcină electrică.

O asemenea particulă Z ar da posibilitatea neutrinilor să se comporte ca niște ghiulele, punând particulele de materie în mișcare, în timp ce ea rămâne neschimbată. Acest lucru ar diferi apreciabil față de manifestările obișnuite ale forței nucleare slabe. De fapt, ar fi un tip de forță cu totul nou.

Prima viziune teoretică asupra bosonului Z a apărut când Sheldon Glashow, un tânăr bursier postdoctoral de la Harvard ce lucra la Copenhaga în perioada 1958–1960, și-a pus problema unificării forței electrice cu forța nucleară slabă, așa cum făcuse Maxwell cu electromagnetismul, un secol mai devreme. El a folosit aparatul matematic dezvoltat în 1954 de către Chen Ning Yang și Robert Mills, care erau colegi de cameră la Laboratorul Național Brookhaven din Long Island. Logica teoriei – simetria, cum o numesc fizicienii – impunea existența unui boson Z neutru și a unor bosoni W cu sarcini pozitive, respectiv negative.

Aici era o dificultate. Deși se presupunea că particulele forței slabe, bosonii W și Z, erau similare fotonilor forței electrice, ele acționau pe o rază foarte redusă, mai mică decât dimensiunea unui nucleu atomic. Un principiu al teoriei cuantice

afirmă că dimensiunea sferei de influență a unei particule este invers proporțională cu masa sa, deci trebuia ca bosonii W și Z să fie foarte grei.

● Progrese la Utrecht

La început nu se putea explica de unde ar putea proveni masa acestor particule. Apoi, Peter Higgs din Edinburgh a postulat existența unei particule grele care putea interacționa cu alte particule, conferindu-le proprietatea fizică de masă. În anii 1967–1968, Abdus Salam la Londra și Steven Weinberg la Harvard, independent, au considerat particula lui Higgs ca fiind mecanismul prin care se conferă masă particulelor-mesager ale forței slabe.

Particulele W și Z ar simți masa netă a particulei Higgs, asemenea antilopelor ce înaintază greoi printr-o mlaștină, în timp ce fotonii ar „zbura” pe deasupra ca insectele neafectate de mocirlă. La temperaturi extrem de înalte, ce se poate să fi dominat începuturile Universului, particulele W și Z obișnuiau „să zboare” nestânjenite. În acele momente, actualele diferențe majore între forța electrică și forța slabă nu ar fi existat și acestea s-ar fi contopit într-o singură forță.

Aceasta a completat schița unei forțe electrolabe unificate. Ca și în cazul primelor analize ale forței electrice, la început experții n-au putut face calculele pentru a obține răspunsuri inteligente despre detaliile teoriei. Pentru a ilustra problema, Salam a dat exemplul moscheii Budshahi, datând din secolul al 17-lea, aflată în Lahore în țara sa natală, renumită pentru simetria bolții sale centrale, încadrată de două bolți mai mici.

„Datoria teoriei (arhitecturale) ar fi în acest caz să determine mărimile relative ale celor trei bolți, pentru a obține perfecțiunea celei mai simetrice proporții”, a spus Salam. „Tot astfel, sarcina teoriei (interacțiunii electrolabe) va fi să ne dea mărimile relative – masele relative – ale particulelor luminii – fotonii și ale forței slabe – bosonii.”

Un doctorand olandez de 24 de ani Gerard 't Hooft din Utrecht a rezolvat problema în 1971. Profesorul său, Martin Veltman, descoperise o modalitate de a soluționa calcule algebrice complicate pe calculator, în ideea că aceasta va face mai ușor de finalizat calculele din fizica particulelor și a forțelor fundamentale. În acele timpuri, computerele erau „monștri” care trebuiau hrăniți cu cartele introduse manual. Succesul lui 't Hooft cu tehnica lui Veltman a întrecut orice așteptări, într-un domeniu în care și cei mai renumiți experți orbecăiseră timp de decenii.

„Am abordat problema cu mintea proaspătă și am reușit să combin ideile potrivite”, a spus 't Hooft. „De exemplu, teoria lui Veltman avea nevoie doar de o particulă în plus. Așa că am intrat în biroul său într-o zi și i-am sugerat să încerce această particulă. La început a fost foarte sceptic, dar apoi computerul i-a arătat în mod direct că aveam dreptate.”

Realizările de la Utrecht aveau să influențeze întregul proces de formulare a teoriilor despre particule și forțe. Pe termen scurt, au dat teoriei forței electrolabe un aspect onorabil din punct de vedere matematic. S-a prezis că masele bosonilor W și Z, particule-mesager ale forței slabe, erau cam de 100 de ori mai mari decât masa protonului. Aceasta depășea cu mult posibilitățile acceleratoarelor de particule la momentul respectiv.

● Dovezi din camera cu bule

„Particula Z nu era doar o posibilitate – a fost o necesitate”, își amintea ‘t Hooft ulterior. „Teoria forței electrolabe n-ar funcționa fără ea. Multor fizicieni nu le-a plăcut Z-ul pentru că a apărut din senin, ca un artificiu inventat pentru a rezolva problema. Ca să o consideri reală, era nevoie de curaj, de încredere că vezi lucrurile exact așa cum sunt.”

Deși nu erau perspective pentru crearea particulelor Z cu tehnologia disponibilă la acea vreme, existența lor putea fi confirmată în acțiune, în coliziunile dintre particule. Aceasta s-a realizat la câțiva ani după publicarea rezultatelor teoretice ale lui ‘t Hooft, într-un experiment realizat la CERN, cel mai mare laborator european de fizica particulelor, situat la Geneva. S-a folosit un imens detector de particule construit în Franța, numit „cameră cu bule”. Umplut cu 18 tone de freon, acesta a primit numele uriașei nesățioase Gargamelle din romanul *Gargantua și Pantagruel* al lui François Rabelais.

Cercetătorii de la CERN au bombardat-o pe Gargamelle cu fascicule de neutrini. Când unul dintre neutrini binevoia să interacționeze cu materia, prin intermediul forței nucleare slabe, urmele de bule din freon evidențiau traiectoriile particulelor încărcate rezultate în urma interacțiunii. Analistii din Aachen, Bruxelles, Paris, Milano, Londra, Orsay, Oxford și de la CERN au examinat cu atenție și cu răbdare fotografiile realizate în interiorul lui Gargamelle, ce reprezentau sute de mii de fascicule neutrinice, și au măsurat urmele de bule.

Cam o imagine dintr-o mie evidenția particulele puse în mișcare de un neutrin care le impacta, dar care nu-și schimba identitatea în urma interacțiunii. Se comporta în modul prezis, ca o ghiulea. Primul exemplu a apărut în laboratorul lui Helmut Faissner din Aachen, în 1972. Dintr-o dată, un electron a început să se miște ca și când ar fi fost împins de o forță invizibilă – de un neutrin care, fiind neutru din punct de vedere al sarcinii electrice, nu lăsa nicio urmă în camera cu bule.

În alte cazuri, un fascicul de particule a pus în evidență, în freonul din camera cu bule, rămășițele unui nucleu atomic lovit de un neutrin. În interacțiunile slabe normale apărea de asemenea urma unui electron greu (miuon), rezultat din transformarea neutrinelui. Doar în câteva cazuri un neutrin neschimbat își continua nevăzut drumul. Exact acesta era comportamentul așteptat din partea bosonului Z, particula-mesager neutră a forței slabe prevăzută de teoria interacțiunii electrolabe.

Prima dată când Salam a auzit despre aceasta a fost pe când își căra bagajul prin Aix-en-Provence, în drum spre o întâlnire științifică, și o mașină a oprit lângă el. „Urcă”, i-a spus Paul Musset de la Proiectul Gargamelle, „am găsit curenți neutri”.

Oh, Doamne, jargonul științific! Când a fost anunțată în 1973, descoperirea făcută de echipa europeană ar fi putut provoca o mare agitație dacă fizicienii n-ar fi continuat s-o numească interacțiune slabă prin intermediul curentului neutru. Suna nu doar vag și complicat, ci și insipid. În realitate, camera cu bule revelase un nou tip de forță din Univers, „Forța Slabă versiunea a II-a”.

● Cum te răsplătește o miză mare

Pentru a confirma povestea, fizicienii nu aveau altă opțiune decât să încerce să producă particulele W și Z cu un nou accelerator. Din 1945, cercetătorii specialiști în fizica particulelor din Europa Occidentală și guvernele care îi finanțau abia au ținut pasul cu colegii americani, în cursa pentru construirea celor mai mari acceleratoare și descoperirea de noi particule cu ajutorul lor. Aceasta s-a petrecut în pofida concentrării tuturor eforturilor pentru crearea CERN. Puteau fizicienii din Europa să inverseze rolurile măcar o dată și să fie primii care să producă particulele forței nucleare slabe?

Cea mai mare instalație de la CERN era pe atunci Sincrotronul Super Protonic (Super Proton Synchrotron). El prelua protonii cu sarcină pozitivă, adică nuclelele de hidrogen, și îi accelera la energii mari, rotindu-i printr-un inel din magneți cu o circumferință de 7 kilometri. Un savant olandez, Simon van der Meer, a inventat o tehnică pentru stocarea și acumularea antiprotonilor. Dacă ar fi introduși în Sincrotronul Super Protonic, antiprotonii cu sarcină negativă s-ar învârti în sens opus protonilor în jurul inelului de magneți.

Fasciculele de protoni și antiprotoni ce se deplasează în direcții contrare ar putea fi accelerate simultan în sincrotron. Când ar ajunge la energia lor maximă de mișcare, li s-ar permite să se ciocnească frontal. Produsele fasciculelor ce se ciocnesc ar putea conține nenumărate exemple de particule W și Z, prezise de teoria interacțiunii electroslabă.

Carlo Rubbia, un fizician italian de la CERN, a fost cel mai entuziast susținător al construirii unui astfel de accelerator de coliziune. Aceasta ar fi însemnat stoparea programelor de cercetare aflate deja în derulare. Nu exista nicio garanție că acest tip de accelerator va funcționa cum trebuie, și cu atât mai puțin că ar facilita descoperirile presupuse.

„Își vor depăși oare inhibițiile prudenței administratori și comitetele cărora li s-au încredințat fondurile publice din mai multe țări, pentru a risca pe o miză atât de mare?”, avea să scrie Rubbia mai târziu. „Europa a trecut testul în mod magnific.” Comitetul de cercetare de la CERN a luat hotărârea să continue proiectul acceleratorului de coliziune la CERN, în 1978. Mai multe echipe multinaționale

au asamblat două mari rețele de detectoare de particule pentru a înregistra rezultatele a miliarde de coliziuni între protoni și antiprotoni.

Cablajul detectoarelor arăta ca fabricile de spaghetti. Problema era să se descopere evenimente rare printre urmele confuze ale binecunoscutelor particule ce erau împrăștiate în urma impacturilor. Urma unei particule W ar fi însemnat dezintegrarea sa într-un singur electron de foarte mare energie, însoțit de un neutrino „invizibil”. În cazul unei particule Z, produsul detectabil al interacțiunii ar fi fost constituit dintr-o pereche electron-antielectron de mare energie.

Primul succes a fost raportat în 1983, când au fost detectați mai întâi zece bosoni W, și apoi cinci bosoni Z. Conform așteptărilor lui 't Hooft, particulele W cântăreau aproximativ 85 de mase protonice, iar particulele Z – 97 de astfel de mase. Descoperirile erau istorice nu doar într-un sens strict tehnic. La o jumătate de secol după ce Einstein și mulți alți fizicieni au început să părăsească Europa, mai întâi din cauza lui Hitler, apoi din cauza războiului și în final a sărăciei postbelice care a paralizat cercetarea, bătrânul continent își recăpăta locul în avangarda fizicii fundamentale.

CERN era în acțiune, iar organizația multinațională a continuat cu construirea unui inel de accelerare lung de 27 de kilometri, Marele Accelerator de Coliziune Electron-Pozitron (Large Electron-Positron Collider), sau LEP. Acesta putea fi reglat să producă milioane de bosoni W sau Z în serie, astfel că evoluția lor putea fi examinată în detaliu. Aceasta a avut consecințe atât de mari încât particulele-mesager ale forței slabe, odinioară particule iluzorii, sunt astăzi foarte familiare fizicienilor, iar teoria interacțiunii electroslabă este complet confirmată.

Cu puțin înainte ca acceleratorul LEP să fie închis în anul 2000, cercetătorii de la CERN au crezut că au detectat și particulele Higgs (cele care conferă masă) cerute de teorie. Speranțele lor au fost însă năruite, iar cercetarea bosonilor Higgs a continuat la laboratorul Fermi, lângă Chicago. Dar înainte de sfârșitul primului deceniu al secolului al 21-lea se așteaptă ca CERN să își reia poziția dominantă cu următorul accelerator de coliziune pentru protoni și antiprotoni, ce ocupă imensul tunel al acceleratorului LEP.

- *Pentru mai multe informații despre Modelul Standard și despre alte forțe universale, vezi FAMILIILE DE PARTICULE și BOSONII HIGGS.*

Indicator
Indicator
Indicator
Indicator



ÎN FIZICA MODERNĂ nu există o distincție clară între materie și forțele cosmice care acționează asupra acesteia. În mod specific, ambele implică particule subatomice asemănătoare. Spre exemplu, forța electrică este transmisă de către particulele luminoase, denumite fotoni. Fotonii cu energii mari ai razelor gamma se pot descompune în electroni și antielectroni, denumiți și pozitroni, care reprezintă particulele de materie ce răspund cel mai prompt la forța electrică.

În secolul al 19-lea, electricitatea și magnetismul au fost considerate drept manifestări diferite ale unei forțe cosmice unice, electromagnetismul. Această unificare s-a extins în secolul al 20-lea, asociind electromagnetismul și așa-numita forță nucleară slabă, cea care transformă un tip de particulă materială în altul, prin intermediul radioactivității. Numai particulele cu sarcină electrică răspund forței electrice, însă toate particulele materiale răspund forței nucleare slabe, care este transmisă prin particulele W și Z – *vezi FORȚA ELECTROSLABĂ*.

Forța de culoare, transmisă prin intermediul gluonilor, acționează asupra particulelor fundamentale cu masă mare, denumite quarci. Ea îi unifică în grupe de câte trei pentru a forma protoni, neutroni și particule materiale similare. Forța nucleară tare, transmisă de mezoni, leagă protonii și neutronii în nucleele atomilor. Pentru informații cu privire la forța de culoare și la forța nucleară tare, *vezi FAMILIILE DE PARTICULE*. Pentru aplicații civile ale energiei nucleare, *vezi ENERGIA ȘI MASA*. Aplicațiile militare sunt descrise în capitolul **ARMELE NUCLEARE**.

Este posibil ca forțele nucleare și forța electroslabă să fi fost unite odinioară într-o unică forță primordială – *vezi BIG BANG*. De asemenea, este posibilă existența materiei exotice și a forțelor asociate acesteia, care nu interacționează într-un mod semnificativ cu materia obișnuită – *vezi SPARTICULELE*.

Gravitația este singulară și diferită de toate celelalte forțe cosmice. În timp ce celelalte forțe sunt descrise de teoria cuantică, teoria modernă a gravitației se bazează pe relativitate – *vezi GRAVITAȚIA*. Prin eforturi teoretice perseverente se încearcă în prezent explicarea gravitației prin intermediul teoriei cuantice – *vezi SUPERCORZILE*.

Cea din urmă forță cosmică descoperită se numește antigravitație, deși această denumire dă naștere unor interpretări eronate. Aceasta forță determină expan-

siunea accelerată a Universului observată de către astronomi. *Vezi* capitolul **ENERGIA NEAGRĂ**, în care se găsesc comentarii despre forța van der Waals dintre molecule și despre forța Casimir, exercitată de presiunea așa-ziselor particule virtuale prezente chiar și în vidul spațial.

Forța Casimir acționează printr-un efect de umbră prin care obiectele apropiate se ecranează reciproc de o presiune externă, astfel încât ele să fie menținute laolaltă. O forță de umbră recent descoperită, determinată de presiunea particulelor obișnuite, poate unifica grăunțe minuscule, producând efecte remarcabile – *vezi* **CRISTALELE DE PLASMĂ**.



Cum crește grădina ta?

"PLANTELE VERZI își întind enorma suprafață a frunzelor și, într-un mod încă nedescoperit, obligă energia solară să ducă la bun sfârșit sintezele chimice, înainte să ajungă la temperatura specifică suprafeței Pamântului." Astfel, în 1866, fizicianul austriac Ludwig Boltzmann a asociat creșterea plantelor cu legile termodinamicii recent descoperite. Invocând aria mare a frunzișului, el a anticipat viziunea secolului al 21-lea asupra pajiștilor și a ierbii de mare planctonice ca uzine fotochimice bidimensionale înzestrate cu ghiduri pentru lumina naturală și cu celule fotoelectrice.

Botaniștii au confirmat destul de lent chiar și faptul că plantele au nevoie de lumină. În 1688 Edmond Halley a comunicat Societății Regale din Londra că a auzit de la un îngrijitor de la Chelsea Physic Garden¹ faptul că o plantă ferită de lumină devine albă, se veștejește și moare. Halley avea motive să creadă că „pentru întreținerea vieții vegetale este necesar ca lumina să aibă acces liber la plantă”. Dar cine să ia aminte la flecărelile unui astronom?

Scriitorul satiric Jonathan Swift s-a apropiat, fără să-și dea seama, cel mai mult de esența problemei în 1726, în cartea sa *Călătorie în Laputa*, în care „proiec-toarele” încercau să extragă raze de soare din castraveți. Jumătate de secol mai

¹ Grădina Farmaciștilor din Londra, înființată în 1673, cu scopul ca ucenicii să învețe să identifice plantele și să studieze proprietățile lor vindecătoare (n. red.).

târziu, Jan Ingenhousz, un olandez stabilit ca medic al curții regale la Viena, a realizat un studiu intitulat *Experimente asupra legumelor*, publicat în Londra în 1779. El a afirmat importanța luminii și a demonstrat totodată că plantele inhalează un gaz „dăunător” și emană un gaz „purificator” din razele de soare. Noaptea acest proces este parțial inversat.

Medicul Ingenhousz este considerat, prin urmare, descoperitorul celor mai importante reacții chimice de pe Pământ. În termeni moderni, plantele absorb dioxid de carbon și apă și folosesc energia radiantă a razelor de soare pentru a produce zaharuri și alte substanțe necesare vieții, eliberând oxigen în timpul acestui proces. Pe timpul nopții, plantele consumă o parte din ceea ce au acumulat în timpul zilei, pentru propria lor întreținere.

Viața animală nu ar putea exista fără oxigenul și substanțele nutritive furnizate de plante. Faptul că micile comunități de pe fundul oceanului subzistă pe baza energiei vulcanice și nu pe baza energiei solare nu modifică substanțial imaginea unei planete unde chimia vieții de pe suprafața ei depinde în principal de combinarea atomilor în molecule cu ajutorul luminii – într-un cuvânt, de fotosinteză. Astfel, peste 100 de miliarde de tone de carbon sunt extrase anual din dioxidul de carbon din aer și integrate în țesutul viu.

● Clorofilă, fotoni și electroni

Mecanismul fotosintezei a devenit treptat mai clar, în conținutul microscopic și molecular al banalelor frunze. De-a lungul secolului al 19-lea și la începutul secolului al 20-lea, oamenii de știință au descoperit că pigmentul verde natural – clorofila – este esențial. Acesta este concentrat în micile organisme din celulele frunzei, numite cloroplaste. Reacția chimică principală a fotosintezei constă în descompunerea apei în hidrogen și oxigen, din care rezultă serii complexe de alte reacții.

O altă introducere la progresele viitoare a fost originea fotochimiei. Aceasta a început cu fotografia și a fost dezvoltată de către Giacomo Ciamician din Bologna într-un studiu vast despre interacțiunile substanțelor chimice cu lumina. Descoperirea făcută de fizicieni, că lumina este alcătuită din particule numite fotoni, a deschis calea pentru a înțelege reacțiile directe dintre fotoni și atomii individuali sau molecule. Electronii au intrat și ei în discuție, ca părți detașabile ale atomilor.

Clorofila colorează uscatul și marea în verde. Molecula sa are formă de zmeu, cu un cap plat, aproximativ pătrat, alcătuit în principal din atomi de carbon și de azot, și o coadă lungă, șerpuită, din atomi de carbon atașați de o moleculă de acid acetic. În centrul capului se află un atom de magneziu ionizat de la care pornesc patru traverse – legături chimice – către un inel de inele, fiecare compus din câte patru atomi de carbon și unul de azot. Diferitele tipuri de clorofilă sunt decorate cu diverse adăugiri, la cap și la coadă.

Din lumina albă a Soarelui clorofila absoarbe în principal fotoni albaștri și roșii, lăsând lumina verde să treacă, dând astfel culoarea pigmentului. Deoarece clorofila este condensată în cloroplaste minuscule, frunzele ar apărea albe sau transparente, dacă nu ar avea un design optic care dirijează lumina ce pătrunde într-o frunză să ricoșeze în interiorul ei de mai multe ori înainte de a ieși din nou. Aceasta mărește șansa ca un foton să întâlnească o cloroplastă și să fie absorbit. De asemenea, asigură luminii verzi care supraviețuiește posibilitatea de a ieși, până la urmă, din toată frunza.

Ritmul descoperirilor referitoare la fotosinteză s-a accelerat în ultima jumătate a secolului al 20-lea. Chimistul Melvin Calvin de la UC Berkeley și alți colaboratori ai săi au utilizat carbon-14 radioactiv pentru a caracteriza moleculele, și astfel au putut urmări cursul reacțiilor chimice ce implicau carbonul. Contrar așteptărilor, sistemul nu acționează direct asupra dioxidului de carbon asimilat, ci creează mai întâi molecule cu energie mare, numite NADPH și ATP. Acestea sunt monedele chimice mobile reprezentând energia liberă pe care celula vie o consumă în toate tipurile de sarcini constructive. Conceptual, ele fac legătura dintre fotosinteză și legile termodinamicii, așa cum își dorea Boltzmann.

Mai multe echipe din Europa și SUA au descoperit treptat că sunt implicate două sisteme moleculare diferite. Ele sunt numite, oarecum confuz, fotosistemul II și fotosistemul I, II fiind primul în logica chimică a procesului, deși a fost descoperit al doilea. Fotosistemul II este zona în care lumina incidentă are cele mai mari efecte, constând în descompunerea moleculelor de apă pentru a crea molecule de oxigen și separarea atomilor de hidrogen în protoni cu sarcină electrică pozitivă și electroni ușori, cu sarcină electrică negativă.

Apa, H_2O , este un compus stabil, iar pentru a-l diviza este necesară energia combinată a doi fotoni de lumină solară. Dar dacă nu doriți ca atomii de oxigen foarte reactivi să facă tăărăboi printre moleculele delicate, este mai bine să eliberați câte doi și să-i împerecheați imediat într-o moleculă de oxigen mai puțin nocivă. Aceasta dublează însă energia necesară tranzacției.

Pentru a acumula mijloacele necesare cumpărării unei molecule de oxigen, prin descompunerea simultană a două molecule de apă, ai nevoie de o pușculiță. În fotosistemul al II-lea aceasta este un cluster de patru atomi ionizați ai unui element metalic, manganul. Fiecare cuantă de energie incidentă extrage un alt electron dintr-un atom de mangan. Când toți cei patru atomi de mangan se ionizează astfel, sistemul convertește două molecule de apă într-o moleculă de oxigen și patru nuclee de hidrogen liber, sau protoni. Cei patru electroni au părăsit deja scena.

Celălalt factor care intervine în proces, fotosistemul I, folosește apoi electronii furnizați de fotosistemul II, și alții eliberați de lumină direct în I, pentru a declanșa o serie de alte reacții chimice. Ei convertesc dioxidul de carbon în compuși ai carbonului cu energii mari. Oamenii înțeleg cu greu jargonul acesta, ca să nu mai vorbim de toate detaliile. Totuși modestul spanac își pune în

funcțiune cele două sisteme cât ai clipi, separând apa cu ajutorul unuia și fixând carbonul din aer prin intermediul celuilalt.

● Pigmenții – un sui-generis sistem de transport

Ca și alte plante, spanacul are și el o rețea de transport moleculară pentru fotoni și electroni. Aceasta este compusă din lanțuri de molecule de pigmenți, în principal clorofilă, poziționate cu mare atenție. Pentru lumină, ele au la început rol de antene care captează fotonii, iar apoi de fibre optice care ghidează energia acestora către punctul de acțiune.

Într-o oarecare măsură este surprinzător ca lanțurile de pigmenți să transmită lumina, dar mult mai remarcabil e faptul că acestea transportă electroni liberi cu o viteză uimitoare. Această posibilitate nu a fost cunoscută de specialiști până în anii 1960. Mai exact, până când Rudolph Marcus, un teoretician din SUA de origine canadiană, a demonstrat că electronii pot face salturi de la o moleculă la alta. În fotosinteză, acest artificiu determină o mișcare accelerată a electronilor liberi prin rețeaua moleculară, astfel încât ei să nu aibă timp să se reunească cu atomi nepotriviți. Ei sunt astfel trimiși exact la moleculele îndepărtate în care acțiunea lor chimică este necesară.

Separarea sarcinilor electrice obținute prin această metodă este cea mai importantă dintre toate etapele procesului de fotosinteză și se petrece în doar câteva milioane de milionimi de secundă. Sistemele cu lasere ultrarapide au devenit instrumente indispensabile în studiul fotosintezei, pentru a fotografia evenimente ce sunt mai rapide decât orice bliț obișnuit. Producerea oxigenului în intervale de timp de ordinul milisecundelor pare relativ lentă, în timp ce reacțiile prin care dioxidul de carbon se transformă în alte substanțe pot dura până la câteva secunde.

Traseul căilor de mare viteză al pigmentilor a devenit vizibil în prima structură moleculară completă a unei fotocelule naturale, care convertea energia luminii în energie electrică. Elucidarea sa a reprezentat un moment decisiv în cercetările asupra fotosintezei. În 1981, la Institutul pentru Biochimie Max Planck din Martinsried, Hartmut Michel a reușit să obțină cristale din centrii de reacție fotosintetică ai unei bacterii purpurii, *Rhodospseudomonas viridis*. Aceasta a deschis calea analizei cu raze X astfel încât, în 1985, Johann Deisenhofer, Michel și alții de la Martinsried au pus în evidență cel mai complex ansamblu molecular tridimensional, la nivel atomic, de până atunci.

Această fotocelulă traversează membrana ca un nit, până în interiorul bacteriei. Lumina incidentă pe ea generează o diferență de potențial electric de-a lungul membranei, trimițând sarcina negativă în partea îndepărtată a ei. Analiza moleculară a arătat cum funcționează acest proces. Patru molecule proteice includ pigmenții dispuși corespunzător, analogii bacteriologici ai clorofilei, aceștia creând o rețea care ghidează energia luminii într-un loc unde două molecule de pigmenți formează o așa-numită pereche specială. Acolo energia luminii eliberează un electron, care apoi se deplasează pe o ramificație a căii pigmentilor,

spre partea întunecoasă a membranei. El își atașează sarcina sa negativă unei molecule de chinonă de formă inelară, ce manifestă un mare apetit pentru electroni.

„Chiar dacă este o bacterie purpurie care a dezvăluit pentru prima dată secretele unui centru de reacție fotosintetică”, a comentat Robert Huber, coordonatorul echipei de cercetători de la Martinsried, „nu trebuie să ne îndoim de importanța sa pentru plantele verzi superioare atât de necesare oamenilor ca hrană”.

● Cadoul algelor verzi-albastre

Deși era cu siguranță încurajator faptul că o moleculă atât de complicată putea fi analizată, fotosistemele plantelor superioare, cu două tipuri diferite de centri de reacție, reprezentau o problemă dificilă. Acestea aveau să dea de lucru oamenilor de știință în secolul al 21-lea.

O complexitate mărită este impusă de rațiuni evolutive. Bacteriile purpurii trăiesc pe baza eliminării substanțelor organice deja existente, folosind energia luminii ca ajutor. Aceasta ar fi o linie moartă dacă alte organisme nu ar produce hrană proaspătă de la început, prin reacția dioxidului de carbon cu hidrogenul. Unele bacterii fotosintetice își obțin hidrogenul prin descompunerea sulfurii de hidrogen vulcanice, dar altele au evoluat până la a descompune apa.

„Gândiți-vă numai”, spunea James Barber, un chimist de la Imperial College din Londra. „Apa este solventul vieții. Ar fi foarte ciudat ca bacteriile să-și atace propriul solvent. Este ca și cum ți-ai da foc la casă pentru a te încălzi. Doar abundența apei pe Pământ a făcut din aceasta o strategie funcțională. Și desigur că primul lucru pe care îl fac plantele la vremea secetei este să stopeze procesul de fotosinteză.”

Principalele protagoniste ale acestei schimbări evolutive au fost algele verzi-albastre, sau cianobacteriile, care au apărut pentru prima dată în urmă cu 2,4 miliarde de ani. Descendenții lor direcți se află încă printre noi. Algele verzi-albastre sunt răspândite în iazuri și oceane, iar pe coasta vestică a Australiei s-au sedimentat sub forma unor movile numite stromatolite, prin adăugarea de noi straturi peste predecesorii morți. Fosile de stromatolite asemănătoare se găsesc în roci datând de 2 miliarde de ani.

Acești strămoși primitivi ai algelor verzi-albastre de astăzi aveau un echipament atât de excelent pentru fotosinteză încât alte celule mai mari i-au absorbit pentru a forma primele alge adevărate. Ori de câte ori celulele se reproduceau, transmiteau mai departe urmașilor lor rezerve de oaspeți verzi-albaştri. Mult mai târziu, unele dintre alge au evoluat ca plante terestre. Cloroplastele verzi din celulele frunzelor plantelor, unde are loc fotosinteza, sunt descendente directe ale fostelor organisme verzi-albastre.

Ce aveau ele atât de special? Înainte ca organismele ancestrale verzi-albastre să apară pe Pământ, unele bacterii fotosintetice precum cele purpurii studiate la Martinsried foloseau chinone pe post de receptori pentru electronii eliberați de

lumină. Altele foloseau clusteri fier-sulf (Fe_4S_4) în acest scop. Organismele verzi-albastre au revigorat procesul de fotosinteză prin unirea celor două sisteme. Ca rezultat, cloroplastele descendentelor lor conțin fotosisteme II (care folosesc chinone) și fotosisteme I (care folosesc clusteri fier-sulf).

Deși există multe variante ale fotosintezei, toate sunt înrudite. Fotosinteza care folosește clorofila pare a fi un truc pe care Natura l-a creat într-o singură variantă. Specialiștii în evoluție moleculară de la Indiana și Kanagawa au descris întregul proces de-a lungul timpului, de la asemănările și diferențele dintre proteinele implicate în fotosinteză, la plante, la organismele verzi-albastre și la alte bacterii fotosintetice care există în zilele noastre. Clorofila, simbolul vieții pe bază de energie solară, a apărut prima dată într-o formă veche la un strămoș comun îndepărtat al bacteriilor fotosintetice verzi și al celor purpurii. Printre variantele care au apărut mai târziu este clorofila a, aparținând exclusiv organismelor verzi-albastre și plantelor.

● Ingineria fotosistemelor

Deși este un utilizator al chinonelor, ca și bacteria purpurie, fotosistemul II generează tensiuni electrice ridicate. Pentru funcția sa principală, mai conține și o enzimă specială care descompune apa – o moleculă proteică al cărei mod de funcționare rămâne încă nedescifrat. Ca și fotocelula bacteriei purpurii, fotosistemul II constă într-un complex de molecule proteice care susține antenele și rețelele de pigmenti, dar este mai mare, având aproximativ 45 000 de atomi în total.

În 1995, echipa lui James Barber de la Imperial College din Londra a reușit să izoleze complexul fotosistemului II dintr-o plantă – spanacul. Substanța a rezistat încercărilor de cristalizare pentru examinarea completă cu raze X. Totuși, microscopul electronic puternic ce funcționa la temperaturi joase au reușit să obțină o primă imagine a organizării sale moleculare.

La Berlin, Wolfram Saenger și colegii săi de la Universitatea Liberă împreună cu Horst Tobias Witt și colegii săi de la Universitatea Tehnică au avut mai mult noroc cu fotosistemul II al unei alge verzi-albastre, *Synechococcus elongatus*, care trăiește în izvoarele termale. Athina Zouni a reușit să crească mici cristale. Nu erau suficient de bune pentru analize foarte detaliate, dar în 2001 echipa sa a obținut o imagine generală a complexului prin radiografie X.

Fotosistemul II al bacteriilor verzi-albastre semăna cu ce a descoperit Barber la spanac și amintea, de asemenea, de sistemul fotosintetic al bacteriilor purpurii. Echipa a localizat aproximativ 10% din cei 45 000 de atomi, inclusiv atomii metalici de bază și moleculele de clorofilă. Ei au atras atenția asupra „pușculiței” – clusterul de mangan care acumulează sarcini electrice pentru descompunerea apei.

Specialiștii de la Berlin studiau, de asemenea, fotosistemul I al bacteriilor verzi-albastre și evidentele asemănări i-au convins că cele două sisteme aveau strămoși comuni. Imaginea devenea tot mai clară; era vorba despre un prețios centru de

reacție care-și avea originea cu mult timp în urmă și care s-a răspândit în lumea vie adaptându-se la diferite moduri de viață, dar păstrându-și întotdeauna structurile esențiale și mecanismele din nucleul său.

Grupul de la Berlin obținuse cristale mai bune pentru fotosistemul I decât pentru fotosistemul II. Ingrid Witt a fost prima care a reușit să cristalizeze grupuri de câte trei unități puternice de fotosistem I din bacteria verde-albastră *S. Elongatus*, în 1988. Aceasta a făcut posibilă analiza cu raze X până la nivel atomic.

Cu un complex atât de formidabil ca fotosistemul I, ce conținea 12 proteine diferite și aproximativ 100 de molecule de clorofilă, analiza nu era ușoară. Razele X foarte puternice, produse de sincrotronul de la ESRF (Instalația Europeană de Radiație Sincrotron) din Grenoble, erau esențiale pentru acest tip de analiză. Cristalele trebuiau să fie înghețate la temperatura azotului lichid pentru a reduce efectele negative asupra structurilor lor delicate cauzate chiar de razele X. În 2001 specialiștii de la Berlin au realizat analiza completă a fotosistemului I, ceea ce a însemnat un triumf.

Analiza indică în detaliu dispunerea proteinelor, dintre care nouă sunt nituite prin membrana suport. Șase molecule amplasate cu grijă furnizează legături centrale de transport luminii și electronilor și formează o pereche specială, ca în structura Martinsried. Cel mai impresionant lucru este o mare antenă ce absoarbe lumina folosind alte 90 de molecule de clorofilă și care înconjoară centrul activ al fotosistemului I. Pigmenții portocalii de caroten contribuie și ei la această antenă.

Pentru necunoscătorii care s-ar putea întreba la ce folosește această căutare perseverentă a detaliilor, până la nivel atomic, Wolfram Saenger avea un răspuns. „Noi nu urmărim doar să ne satisfacem curiozitatea referitor la mecanismele și evoluția acestei chimii ce generează viața”, spunea el. „Am obținut deja o nouă perspectivă surprinzătoare asupra modului în care pigmentii, proteinele, lumina și electronii funcționează în sistemele vii. Iar fizica, chimia, biochimia și biologia moleculară, mobilizate cu succes în studiul fotosintezei, pot investiga acum aceste lucruri și multe alte mecanisme moleculare din celulele vii, pentru a afla cum funcționează ele de fapt.”

● Putem îmbunătăți sistemele naturale?

Ne putem aștepta și la avantaje de natură practică. Informațiile tot mai numeroase despre genetica și biologia moleculară a aparatului fotosintetic și a mecanismelor sale de control naturale i-ar putea ajuta pe agricultori să mărească viteza de creștere a culturilor. Alți oameni de știință folosesc biomolecule la construirea unor sisteme fotosintetice artificiale pentru a genera energie electrică sau pentru a degaja hidrogen combustibil. În competiție cu aceștia sunt fotochimistii, care preferă oxizii de metale sau aliajele metalice, care pot de asemenea descompune apa în oxigen și hidrogen atunci când sunt expuse la lumină, fără a fi nevoie de organisme vii.

În 1912, Ciamician de la Bologna aștepta cu nerăbdare vremea când secretele plantelor „vor fi stăpânite de industria umană care va ști cum să le facă să

producă mai multe fructe decât Natura, pentru că Natura nu se grăbește, spre deosebire de omenire”. În acest sens, cele două secole care au fost necesare pentru stabilirea noțiunilor fundamentale despre fotosinteză ar putea prevesti o nouă relație între ființele umane și energia solară atotrănitoare.”

- *Referitor la impactul geologic al fotosintezei, vezi ENZIMELE GLOBALE și ARBORELE VIEȚII. Pentru influențele sale actuale, vezi CICLUL CARBONULUI și BIOSFERA DIN SPAȚIU. Pentru mai multe informații asupra proteinelor și structurii lor, vezi FORMELE PROTEINELOR. Biologia moleculară a plantelor este studiată mai general în ARABIDOPSIS. Pentru surse alternative de energie necesară vieții, vezi BACTERIILE EXTREMOFILE.*

FULLERENE ȘI NANOTUBURI



Realizări mărețe cu resurse infime

ARHITECȚII DIN ÎNTREAGA LUME au putut vedea pentru prima oară un dom geodezic în grădina Castelului Sforzesco din Milano. Acolo a fost construit, prin metodele geometriei aplicate, un dom de 13 metri lățime, cu o suprafață aproape sferică, din panouri plate de carton. Cu acest proiect, arhitectul american Buckminster Fuller a obținut Marele Premiu al Triennalei de la Milano, în 1954. Muzeul de Artă Modernă din New York i-a oferit posibilitatea unei expoziții personale câțiva ani mai târziu.

Fuller a fost un profet al științei proiectării, care și-a propus să încurajeze prosperitatea lumii prin utilizarea economică și ingenioasă a resurselor existente. El a prevăzut mișcarea artistico-științifică de transformare a „capacității totale a omului ajutat de uneltele sale de la a ucide la a asigura un mod de viață superior”. Cupole geodezice solide, construite din bare de fibră de sticlă și din panouri de plastic, adăpostesc antenele parabolice ale radarelor arctice din timpul Războiului Rece. Utilizările mai pașnice ale domurilor geodezice includ corturi, săli de concert, sere, precum și pavilionul american de 76 de metri lungime de la Expoziția Mondială de la Montreal din 1967.

Ideile sale au căpătat proporții grandioase atunci când Fuller a propus să instaleze o seră în formă de dom geodezic cu o lungime de trei kilometri deasupra

centrului orașului New York, pentru a se realiza un climat tropical în respectiva zonă. Însă la numai doi ani de la moartea sa, în anul 1983, Mama Natură și-a dezvăluit propria aplicație remarcabilă, la scară atomică. Pentru o generație nouă de profeti, geodezia moleculară a deschis o cale microscopică rapidă pentru știința proiectării și „arta de a trăi”.

Fuller însuși nu ar fi fost surprins. El știa că grupările moleculare de virusuri puteau avea forme geodezice. Pentru a-și explica ideile geometrice, Fuller a început cu tetraedrul, piramida triunghiulară care este cea mai simplă structură tridimensională ce poate fi înscrisă perfect în interiorul unei sfere. Lui îi plăcea să amintească faptul că Jacobus van't Hoff, laureat al primului Premiu Nobel pentru Chimie în anul 1901, a dedus dispunerea tetraedrică a celor patru legături chimice care înconjoară în mod normal atomul de carbon.

Van't Hoff era un simplu student la Utrecht în 1874, când a sugerat pentru prima dată chimiștilor că ar fi necesar să-și imagineze structurile în trei dimensiuni pentru a înțelege existența formelor levogire și dextrogire ale aceleiași molecule. *Chimie dans l'Espace* (Chimie în spațiu) a fost titlul dat de van't Hoff stereo-chimiei sale revoluționare, însă un secol mai târziu acest apelativ sugera mai degrabă chimia extraterestră. A fost o încercare de a imita comportamentul atomilor de carbon în stele, care a condus la descoperirea unei molecule de carbon pur de forma unei mingi.

● „Avem de-a face cu o minge de fotbal”

Povestea a început în anii 1970 la Universitatea Sussex, situată deasupra stâncilor de calcar din sud-estul Angliei. Acolo Harry Kroto era vestit pentru construirea moleculelor imposibile, cu legături chimice duble între atomii de carbon și de fosfor. I-au atras atenția legăturile multiple pe care le formau atomii de carbon între ei, datorită vibrațiilor cuantice ale electronilor lor. În cazul etilenei, C_2H_4 , vârfurile tetraedrului sunt înclinate, astfel încât să permită existența unei duble legături între atomii de carbon. La acetilenă, C_2H_2 , există o legătură triplă, astfel încât tetraedrul deformat seamănă mai degrabă cu mătura unei vrăjitoare.

Kroto și colegii lui au realizat „verișoare” mai subțiri ale etilenei și acetilenei, sub formă de lanțuri de atomi de carbon la care s-au atașat un număr mic de atomi diferiți. Acești compuși, numiți poliene, conțineau un număr par de atomi de carbon și doi atomi de hidrogen. În cianopoliene gruparea cian CN înlocuia un hidrogen. Să fi fost acestea doar simple curiozități apreciate de chimiștii teoreticieni? Nu, Kroto a intuit că asemenea molecule ar putea exista în spațiul interstelar.

El a luat legătura cu foștii săi colegi de la Consiliul Național pentru Cercetare din Canada, care se ocupau cu detectarea moleculelor prin unde radio specifice emise de acestea. Cu ajutorul radiotelescopului de la Observatorul Radio Algonquin din Ontario, de 46 de metri lungime, ei au înregistrat semnalele radio ale cianopolienei, în anul 1975. Pornind de la aceasta, a urmat o discuție despre originea

moleculelor de carbon speciale. Să se fi format în perioade lungi de timp, în interiorul norilor moleculari întunecați ai Căii Lactee? Sau au luat naștere rapid, așa cum credea Kroto, în atmosferele gigantelor roșii muribunde, care constituie surse de carbon nou creat în urma reacțiilor nucleare din interiorul stelelor?

Povestea se mută apoi la Universitatea Rice din Houston. În timp ce-și vizita un prieten, pe Bob Curl, Kroto l-a cunoscut pe Rich Smalley, care realiza clusteri de atomi de siliciu cu ajutorul razelor laser. Prin metoda acestuia, după vaporizarea prin intermediul razelor laser urma o răcire bruscă. Kroto și-a dat seama că acest fenomen era similar cu condițiile din atmosfera stelară în care se formau polienele. Însă Smalley a fost sceptic în privința ideii lui Kroto de a-i împrumuta echipamentul în scopul vaporizării carbonului.

„La urma urmei”, își amintea ulterior Smalley, „noi cunoșteam deja totul despre carbon. Cel puțin așa credeam. Așa că i-am spus lui Harry: «Da, bine, altă dată. Poate anul acesta, poate la anul.»”

În 1985 el s-a înduplecat, așa că Kroto s-a alăturat echipei lui Smalley, Curl și a doctoranzilor Jim Heath, Sean O'Brien și Yan Liu, pentru a realiza timp de câteva zile experimente la Rice, bombardând grafit cu lumină laser. Un spectrometru de masă a identificat produsele după greutatea moleculară a acestora. Spre uimirea chimiștilor, au fost detectate nu doar poliene, ci și molecule cu masă 720, în număr foarte mare. Acestea conțineau exact 60 de atomi de carbon.

Făcând schițe pe șervețelele de la restaurant și modele cu ajutorul bomboanelor de forma unor pastile colorate și a scobitorilor, echipa a încercat să-și imagineze modul de dispunere a atomilor de carbon într-o moleculă de C_{60} . Până în acel moment, specia umană cunoscuse două forme principale de carbon pur. Într-un diamant fiecare atom se leagă de alți patru vecini situați în vârfurile tetraedrului lui van't Hoff. Grafitul, pe de altă parte, prezintă straturi plane de atomi dispuși în formă de fagure, cu hexagoane de câte șase atomi de carbon unite între ele. Electronii prinși în modul cuantic vibrațional formează în medie o legătură și jumătate între fiecare pereche de atomi.

Kroto a vizitat marele dom al lui Buckminster Fuller din Montreal în anul 1967. El și-a amintit că acesta conținea multe panouri cu șase muchii (în formă hexagonală). Nu exista niciun mod de a plia grafitul într-o moleculă cu 60 de atomi, însă Kroto și-a amintit asamblarea geodezică a unei jucării care conținea și pentagoane. Și-a propus să verifice acest lucru când se va întoarce la Sussex.

În urma acestor sugestii ale lui Kroto, Smalley a rămas la Houston până la orele dimineții, decupând hexagoane și pentagoane de hârtie, lipindu-le apoi cu scoci, până când a reinventat de unul singur o structură cu exact 60 de colțuri pentru atomii de carbon. A doua zi de dimineață, Departamentul de Matematică de la Rice i-a confirmat concluzia și i-a comunicat lui Smalley că forma descoperită de el semăna cu o minge de fotbal.

Fără să știe, cei care proiectaseră mingiile de fotbal sferice, formate din 20 de hexagoane și 12 pentagoane de piele, au descoperit forma superbă preferată de moleculele de carbon. La scurt timp după descoperirea structurii de C_{60} , căpitanul echipei de fotbal a Argentinei, Diego Maradona, a eliminat echipa Angliei de la Cupa Mondială din 1986 printr-un gol neregularitar înscris cu încheietura mâinii. El a explicat, cu mândrie, că a fost „mâna lui Dumnezeu”. Dacă presupunem, ca și fizicianul Paul Dirac, că „Dumnezeu este un matematician de înaltă clasă”, am putea observa mai multă înțelepciune cosmică în icosaedrul trunchiat regulat al aceluia balon ofensator.

● Ușor de realizat

„Carbonul are o capacitate genială de autoasamblare în această structură și am fost destul de norocoși să descoperim acest fapt”, a afirmat Smalley. Cheia stabilității structurii moleculei de C_{60} o constituie faptul că aceasta este cea mai mică moleculă de carbon existentă în care niciunul dintre pentagoane nu se învecinează. Stabilitatea inelelor hexagonale de carbon este demonstrată de structura grafitului și a milioanei de compuși aromatici ai carbonului. Există de asemenea și inele pentagonale de carbon, însă acestea sunt mai puțin stabile, iar moleculele cu pentagoane învecinate sunt foarte instabile. Deși sunt disponibile pentru a forma C_{60} și alte molecule similare cu structură ciclică, pentagoanele nu sunt acceptate câte două alăturate. Nevoia de stabilitate chimică hexagonală nu ține seama de matematica pură, care ar permite cu ușurință unei structuri tridimensionale să fie alcătuită numai din pentagoane.

Așa cum se întâmplă cel mai adesea în știință, s-a constatat că alții se gândiseră la molecula de fotbal cu mult înainte. În anul 1966, David Jones, care scria sub pseudonimul Daedalus editoriale ingenioase și semi-umoristice pentru revista *New Scientist*, a atras atenția că dacă grafitul includea 12 inele pentagonale, ar fi putut forma o moleculă închisă. Chimistii din Japonia (1970) și din Rusia (1972) și-au pus problema viabilității moleculei de C_{60} , iar la UC Los Angeles, în jurul anului 1980, au încercat chiar să producă C_{60} prin metode tradiționale.

Fizicienii s-au orientat și ei către noua moleculă de carbon. În 1990, Wolfgang Krätschmer de la Institutul de Fizică Nucleară Max Planck, situat pe dealul din vecinătatea orașului Heidelberg, și Don Huffman de la Universitatea Statului Arizona au descoperit o modalitate ușoară de a produce și de a cristaliza molecula de C_{60} . Ei au colectat pur și simplu cenușa rezultată în urma acțiunii unui arc electric format între niște bare de grafit și au introdus-o într-un solvent, benzen. S-a format un lichid roșu, iar când soluția s-a uscat pe o lamelă de microscop, s-a descoperit prezența unor cristale portocalii de C_{60} . Diferite teste, inclusiv analiza cu raze X, au confirmat forma moleculei.

„Descoperirea noastră a provocat o avalanșă de cercetări”, și-a amintit Krätschmer mai târziu. „Unii au asociat-o cu răspândirea unei maladii. Apoi Laboratoarele Bell au descoperit materialele supraconductoare pe bază de C_{60} ,

iar revista *Science* a proclamat C_{60} 'molecula anului', în 1991. Până atunci fusese o specie cu adevărat interdisciplinară".

Kroto și-a convins colegii să numească molecula de C_{60} buckminsterfullerenă. Acesta s-a numit mai concis fullerenă sau, mai familiar, buckysferă. În vreme ce Kroto, Curl și Smalley urcau pe scena de la Stockholm în 1996 pentru a primi Premiul Nobel, chimiștii din întreaga lume creaseră deja numeroase molecule similare, fiecare dintre acestea reprezentând o formă nouă a carbonului elementar.

Acestea includeau buckysferele în formă de ovoid și, de asemenea, tuburile de carbon denumite nanotuburi. Smalley a patentat buckytuburile ca o marcă înregistrată – după cum era și firească, deoarece nanotuburile promiteau să fie mai importante decât buckysferele, din punct de vedere tehnologic.

● Împletitura moleculară

Sumio Iijima a descoperit primele nanotuburi cunoscute în anul 1991. În laboratorul pentru cercetări fundamentale al Corporației NEC din Orașul Științific Tsukuba din Japonia el a lucrat cu microscopie electronică puternică și a folosit un arc electric din grafit similar celui al lui Krätschmer pentru a investiga buckysferele. În imaginile obținute, Iijima a detectat într-adevăr sfere de forma unei cepe, însă i-au atras mai mult atenția o mulțime de structuri de forma acelor de cusut.

Acestea erau nanotuburile, care și-au făcut apariția spontan, ca o altă surpriză oferită de carbonul elementar. Sunt compuse din inele hexagonale, precum straturile de grafit. Foițele lungi și înguste, rulate și lipite precum foițele de țigară, formează tuburi cu diametrul de un nanometru – a milioana parte dintr-un milimetru – sau mai puțin.

Coșurile tradiționale japoneze sunt țesute din fâșii de bambus. Iijima a descoperit în structura acestora asemănări cu nanotuburile, în special la extremitățile în creștere ale moleculelor. Coșurile prezintă o varietate de forme, dar întotdeauna benzile de bambus se intersectează pentru a forma mai multe inele hexagonale. Adăugarea unui pentagon determină formarea unui colț, în timp ce adăugarea unui inel heptagonal generează forma unei șei.

Pentru cursurile sale despre nanotuburi, Iijima avea un coș special făcut la comandă. Acesta reprezenta cilindri cu trei diametre diferite, conectați la extremități, ca pentru a imita un dispozitiv electronic la scară moleculară format din nanotuburi. Desigur, el observase că țesătura rezultantă integra inele pentagonale și heptagonale acolo unde era necesar.

„Meșteșugarul nostru știe cum să procedeze pentru a forma îmbinări netede”, a spus Iijima. „Atunci de ce nu procedăm și noi la fel, în nanotuburile de carbon?” Mai târziu, o echipă de la Universitatea de Tehnologie din Delft a descoperit

existența nodurilor în interiorul nanotuburilor. Un inel pentagonal și unul heptagonal, înăuntrul și în exteriorul colțului, formau un nod.

Importanța unei asemenea împletituri moleculare constă în faptul că nanotuburile pot avea proprietăți electrice diferite. În cea mai regulată formă a lor, acestea sunt bune conductoare de electricitate, ca și grafitul, dar dacă la înfășurare ele sunt ușor distorsionate, devin semiconductoare. Dacă nanotubul dintr-o parte a nodului este conductor, iar cel de pe cealaltă parte este semiconductor, curentul electric va avea o direcție preferențială. Astfel rezultă dispozitivul numit de inginerii electroniști diodă, însă cu o joncțiune de dimensiunea câtorva atomi.

„Nanotuburile asigură toate elementele de bază pentru a construi circuite electronice”, a afirmat Cees Dekker, conducătorul echipei de la Delft. „Este într-adevăr uimitor că în doar câțiva ani am descoperit că printr-o singură moleculă nanotub poate trece curent electric, că ea se poate comporta ca un metal sau ca un semiconductor, și că putem construi tranzistoare și circuite cu ajutorul ei.”

Așteptând cu nerăbdare electronica moleculară bazată pe carbon, Dekker a subliniat faptul că aceasta nu era doar o problemă de îmbinare a tehnicilor secolului al 20-lea. „Aceste molecule au interacțiuni chimice reciproce care conduc la o nouă modalitate de asamblare a circuitelor”, a afirmat el. „Iar la scară moleculară, electronii au un comportament ondulatoriu, ceea ce deschide noi posibilități de control al semnalelor electronice”.

La zece ani după ce Iijima a descoperit nanotuburile, inginerii electroniști și alți specialiști visau la nanotuburi în cristale perfecte. Însă din nou acestea au fost create din întâmplare, de data aceasta de către o echipă elvețiano-britanică de la IBM Zürich, Neuchâtel și Cambridge. Cristalele au apărut nepoftite în timpul unui experiment al cărui scop era realizarea unor tuburi conținând atomi de metal.

Buckysferele și atomii de nichel, depuși prin intermediul unei site microscopice pe o suprafață de molibden, au format micropiloni. Încălziți în prezența unui câmp magnetic, micropilonii se transformau în mod spontan în cristale frumoase în formă de baghetă, fiecare compus din mii de nanotuburi identice, strâns grupate. Nichelul a fost eliminat în totalitate din aceste tuburi – contrar scopului experimentului inițial.

„Reușita de a construi rețele cristaline perfecte de nanotuburi în felul acesta, când toate încercările anterioare nu dăduseră decât nanotuburi amestecate haotic, semănând cu o farfurie cu spaghete, a fost atât de neașteptată încât nici nu ne-a venit să credem, la început”, a mărturisit Mark Welland de la Cambridge. „Abia după șase luni ne-am convins că ceea ce vedeam era real.”

● Dați frâu liber imaginației

Este puțin probabil ca cineva să fi evaluat până acum mai mult de o mică parte din totalitatea capacităților tehnologice latente ale nanotuburilor. Moleculele sunt

mult mai puternice decât oțelul și mult mai ordonate la nivel atomic decât fibrele de carbon utilizate inițial la consolidarea materialelor plastice. Ele rezistă la temperaturi de 500°C. Împreună cu metalele, acestea pot deveni supraconductoare, adică își pierd toată rezistența la trecerea unui curent electric în condiții de temperatură joasă. Atomii, chiar și buckysferele care conțin atomi, pot fi îndesați în nanotuburi, precum mazărea într-o păstaie. Astfel, s-a dovedit că a face chimie cu resturi poate furniza legături și metode folositoare.

Descoperirea lui Iijima a fost pusă la dispoziția tuturor. Mii de lucrări științifice despre nanotuburi, din zeci de țări ale lumii, au deschis calea unui nou domeniu din chimie, fizică și din știința materialelor. Pe măsură ce noile rezultate și idei au extins aria aplicațiilor predictibile, avocații în domeniul brevetelor aveau tot mai mult de lucru.

Faptul că nanotuburile se adună în mod spontan într-o împletitură rezistentă reprezintă un avantaj pentru anumite scopuri. Cercetătorii de la Universitatea Rice au descoperit o modalitate de a produce în masă nanotuburi din monoxid de carbon, ceea ce însemna o scădere semnificativă a costurilor. Acest fapt a încurajat predicțiile aplicațiilor de prim ordin ale proprietăților intensive ale nanotuburilor împletite. Ele cuprindeau de la proiecte modeste cum ar fi depozitarea hidrogenului, ecranarea câmpurilor electromagnetice ale telefoanelor mobile și invizibilitatea avioanelor față de radare, până la idei provocatoare referitoare la realizarea unor frânghii de nanotuburi care să ajungă în spațiu.

Astfel de scări ale lui Iacob ar putea funcționa ca ascensoare pentru a lansa sateliți, sau ar putea extrage energie electrică din spațiu. Această electricitate naturală ar putea întreține mișcarea circulară a unor rotoare construite tot din nanotuburi împletite, până când acestea ar stoca tot atâta energie ca și benzina, furnizând astfel energie nepoluantă în formă portabilă.

Microcipul de siliciu ar putea amâna utilizarea nanocipului de carbon la realizarea computerelor și a senzorilor. Însă aceasta este gândirea liniară, și trebuie să înfrunte concurența oamenilor care produc tranzistori din fire metalice fine. O viziune multidimensională a buckysferelor și a nanotuburilor ia în considerare materialele cu proprietăți fizice remarcabile și controlabile, care sunt predispuse la modificări chimice, exploatând binecunoscuta multilateralitate a atomului de carbon. În plus, sistemele vii reprezintă cei mai inteligenți chimiști în prelucrarea carbonului. Din acest punct de vedere, să ne imaginăm că am putea adapta enzime sau chiar bacterii la producerea industrială a dispozitivelor cu nanotuburi este poate o fantezie, însă nu o absurditate.

Noua tehnologie moleculară a carbonului este în acord cu ideile generale despre nanotehnologie – ingineria la scară atomică. Acestea au circulat de când fizicianul american Richard Feynman a afirmat, în 1959: „După părerea mea, principiile fizicii nu elimină posibilitatea manevrării lucrurilor la scară atomică”.

Inițial speranțele au depășit realitatea, axându-se pe ingineria cu biomolecule, cum ar fi proteinele și acidul nucleic, sau pe molecule proiectate de la început pentru a funcționa ca roți, întrerupătoare, motoare și așa mai departe.

Anticipând eventuala posibilitate de realizare a unor asemenea invenții, se pot prevedea nave spațiale de mărimea unui fluture, computere de mărimea unei bacterii și microimplanturi care s-ar putea deplasa prin interiorul corpului unei persoane bolnave. Apariția, în 1980, a microscopelor capabile să detecteze și să manipuleze atomi individuali, a conferit credibilitate acestor ipoteze. Buckysferele și nanotuburile nu numai că au constituit elementul surpriză, însă au deschis de asemenea posibilități nelimitate pentru inovatori.

Magneții de carbon pur, creați pentru prima dată la Institutul de Fizica Presiunilor Înalte din Troitsk, Rusia, reprezintă un simbol al posibilei învechiri a tehnologiei metalului. Cercetătorii au descoperit că distrugerea parțială a unui polimer fullerenă prin supunerea acestuia la presiuni înalte produce un material care este feromagnetic la temperaturi obișnuite. Cu alte cuvinte, acesta posedă proprietăți magnetice puternice, asociate în mod obișnuit fierului.

„Feromagnetismul materialelor din carbon pur ne-a luat prin surprindere”, a afirmat Valery Davydov, conducătorul echipei de cercetare de la Troitsk. „Însă studiul acestor materiale în diferite laboratoare din Germania, Suedia, Brazilia și Anglia ne convinge de realitatea acestui fenomen. Acest fapt deschide un nou capitol în cărțile de magnetism.”

Dacă nu dați frâu liber imaginației, veți avea puține șanse de a înțelege implicațiile noilor forme ale banalului carbon. Pentru a găsi un moment comparabil cu acesta în istoria materialelor, ar fi necesară o incursiune în Epoca Bronzului, când fierarii din Cipru au făcut primele cuțite din oțel, în urmă cu 3 100 de ani. Cine s-ar fi gândit atunci la ace de busolă, la vapoare cu aburi, la căi ferate sau la mașini de scris? Pe măsură ce lumea progresează de la Epoca Fierului, trecând printr-o foarte scurtă Epocă a Siliciului, spre Era Carbonului, singura certitudine este faptul că oamenii vor realiza mult mai mult utilizând resurse infime, așa cum anticipase Buckminster Fuller. Orice perspective ca specia umană să-și epuizeze resursele materiale par din ce în ce mai îndepărtate.

● Surprizele înseamnă impredictibilitate

Dorința unui chimist, împins de curiozitate, de a simula manifestarea carbonului în atmosfera unei stele a avut drept rezultat întâlnirea providențială cu molecula de C_{60} , buckminsterfullerena. Pornind de aici a urmat descoperirea întâmplătoare a nanotuburilor, a unui specialist în microscopie electronică. Direcția științei și a ingineriei s-a schimbat în mod ireversibil, având implicații în toate domeniile, de la studiul originii vieții până la reducerea poluării mediului înconjurător. Ce valoare mai pot avea toate încercările comisiilor de experți de a planifica știința?

Harry Kroto a considerat buckysferele și nanotuburile drept un exemplu elocvent al inutilității încercării de a prezice descoperirile, în scopul acordării bursei de cercetare. Care valoare poate avea cerința uzuală a agenților finanțatoare, conform căreia cercetătorii trebuie să descrie în avans rezultatele și utilitatea experimentelor pe care le propun? De ce nu se oferă celor mai buni dintre tinerii cercetători accesul la cele mai bune echipamente, așteptând apoi rezultatele?

Plimbându-se prin podgoriile din Valea Napa din California, Kroto a găsit cuvintele potrivite pentru a-și formula convingerile. „Am descoperit un vechi Volvo lovit într-o parcare, pe a cărui bară de protecție era scrisă o afirmație cu adevărat minunată, care rezumă atitudinea mea față de toate problemele culturale și științifice, în special. Era un citat din Cântecul lui Aragorn, de J.R.R. Tolkien:

„Nu toți cei care hoinăresc sunt pierduți.”

- Pentru subiecte similare, vezi **MOLECULE ÎN SPAȚIU** și **ORIGINEA VIEȚII**. Pentru mai multe informații despre dispozitive la scară atomică, vezi **PARTENERI MOLECULARI**. Pentru ecouri ale opiniei lui Kroto referitoare la inutilitatea planificării activității de cercetare, vezi **DESCOPERIRILE**.



GALAXIILE

În căutarea laptelui lunonei prin Universul tânăr

P LATOUL CALCAROS de la Guizhou din sudul Chinei a fost multă vreme refugiul maimuțelor gri-aurii, al minorităților etnice și al rebelilor politici. Radioastronomii au descoperit prin cheile străjuite de stânci ascuțite o rețea de antene parabolice pregătite de Mama Natură. Prăbușirea cavernelor sculptate de apă în rocile de calcar a dus la apariția a sute de cratere imense.

Într-o asemenea dolină carstică, la Arecibo, pe insula Puerto Rico, radioastronomii americani au amplasat cea mai mare antenă radio din lume. Suspendat de un păienjeniș de cabluri care se intersectează deasupra craterului, telescopul de la Arecibo părea că se rotește destul de vertiginos în timp ce James Bond se lupta, pe antena parabolică, cu băieții răi din filmul *Goldeneye*. Radioastronomii chinezi și-au propus să-l depășească cu o antenă și mai mare, instalată la Guizhou. Denumită FAST, aceasta urma să aibă o rază de 500 de metri, față de cea de numai 305 metri de la Arecibo.

„Noi nu ne-am propus doar să clonăm telescopul de la Arecibo”, a afirmat Ai Guoxiang de la Observatorul din Beijing. „Acest instrument istoric a fost conceput în urmă cu o jumătate de secol. Antena noastră va fi mai mare, forma sa se află sub un control activ și vom îmbunătăți sensibilitatea și capacitatea de acoperire a cerului. Și e firesc să privim telescopul FAST drept un proiect pilot pentru Square Kilometre Array, care poate utiliza geologia noastră carstică foarte favorabilă”.

Square Kilometre Array reprezintă un proiect global cu scopul de a crea un radiotelescop gigant având mai multe antene reflectoare parabolice, aprobat în anul 2000 de mai multe consorții științifice din Europa, India, Australia, Canada și China. Confrunțați cu problema concurenței în privința alegerii celui mai potrivit spațiu și tip de telescop, chinezii au sperat că peisajul natural de la Guizhou le va oferi un avantaj. „Încercați să puneți 30 de antene de 200 de metri în oricare dintre dolinele noastre”, spuneau ei.

Dacă ținem cont că cea mai renumită antenă a telescopului Lovell din Manchester, de la Jodrell Bank, are diametrul de 76 de metri, pe când cele 27 de antene ale telescopului Very Large Array (VLA) din New Mexico au diametrele de 25 de metri, devine evident că radioastronomii din întreaga lume urmăreau o creștere uriașă a suprafeței de captare. De ce? În special pentru a recepționa

semnalele radio foarte slabe din domeniile extreme ale emisiilor atomilor de hidrogen, principala materie primă a Universului vizibil.

Când astronomii olandezi au început cercetările asupra undelor radio cu lungimea de undă de 21 de centimetri emise de atomii de hidrogen, în 1950, ei foloseau o antenă modestă pentru studiul distribuției acestora în galaxia noastră, Calea Lactee. Astfel, ei au dezvăluit faptul că, văzută din exterior, galaxia noastră este la fel de frumoasă ca și celelalte galaxii, prezentând aceleași brațe spiralate îndelung admirate de astronomi. Proiectul Square Kilometre Array a fost elaborat pe criteriul de performanță de a identifica imaginea Căii Lactee prin intermediul cantității de hidrogen din aceasta, chiar și dacă s-ar afla la o distanță de 10 miliarde de ani-lumină. Radioastronomii ar putea astfel să cerceteze originea galaxiilor, cele mai mari concentrații de materie vizibilă din spațiul cosmic.

● Lapte și șampanie

„Originea Căii Lactee”, o pânză realizată în preajma anului 1575 de către pictorul venețian Jacopo Tintoretto, îl înfățișează pe Jupiter punându-și odrasla muritoare, pe Hercule, la sânul Iunonei, pentru ca aceasta să devină nemuritoare. Șuvoaie de lapte țâșnesc din pieptul Iunonei, formând stelele. Acest mit lactic se asociază cu denumirea unei căi luminoase de pe cerul nopții.

În limba greacă antică, *Galaxias* însemna „ca laptele”, iar astronomii au adoptat denumirea de galaxie ca fiind mai elegantă și mai ezoterică decât *Via Láctea*, *Voie Lactée*, *Milchstrasse* sau Calea Lactee din limbajul curent. Pe atunci ei își imaginau că galaxia reprezintă o concentrare aplatizată a mai multor miliarde de stele, văzută pe muchie din interiorul ei. Însă în secolul al 20-lea, denumirea de „galaxie” a fost generalizată pentru multe alte roiuri similare de stele, răspândite precum navele în oceanul spațial.

O majusculă G n-a fost suficientă pentru identificarea căminului nostru cosmic, astfel că astronomii au apelat din nou la limba maternă, neluând în seamă faptul că a spune Galaxia Calea Lactee era ca și cum ai spune Galaxia Galaxia. Tautologia are o valoare, căci fiecare stea de pe cer vizibilă cu ochiul liber aparține Galaxiei, chiar dacă ea se află la o distanță considerabilă de spirala Căii Lactee. Singurele galaxii detectabile cu ochiul liber sunt Marele și Micul Nor Magelanic, de neconfundat pentru navigatorul portughez în drum spre Cape Horn, și mult mai îndepărtata galaxie Andromeda M31, aflată în partea nordică a cerului și fiind mai dificil de detectat. Acestea au, de asemenea, o aparență lăptoasă.

Din punct de vedere nutritiv, hidrogenul cercetat de telescopul Square Kilometre Array seamănă cu laptele, prin faptul că alimentează procesul de formare a stelelor. Galaxiile aplatizate dispuse în formă de spirală, similare Căii Lactee, conțin numeroase stele albastre în discul gazos, formate recent, însă cu o viață scurtă, în timp ce protuberanțele centrale au conținut mai scăzut de gaz și sunt compuse din stele mai roșii și mai în vârstă. Galaxiile imense în formă de ou,

denumite eliptice, și-au pierdut sau și-au consumat aproape toată rezerva de hidrogen. Acestea sunt mai mult sau mai puțin roșii și sterile.

În Universul tânăr, singura materie utilizabilă reprezenta un amestec de hidrogen și heliu. Detectând radiația hidrogenului cu lungimea de undă de 21 de centimetri, deplasată către lungimi de undă de peste un metru datorită expansiunii Universului, telescopul Square Kilometre Array ar trebui să vadă laptele Iunonei dând naștere celor mai timpurii galaxii, stele sau găuri negre – indiferent care dintre ele a apărut mai întâi. Potrivit unei ipoteze, cel mai evident indiciu ar fi, în mod paradoxal, o dispersare a hidrogenului.

„Pe măsură ce primele obiecte cosmice au început să emane gazul neutru în jur, se presupune că temperatura a crescut și astfel s-au format bule de hidrogen cald”, a explicat Richard Strom, din echipa olandeză a telescopului Square Kilometre Array. „Aceste bule produc un fel de spumă care se dizolvă până la urmă într-un mediu aproape complet ionizat în care atomii de hidrogen și-au pierdut electronii și nu mai emit unde radio. Este ca și cum ai scoate dopul unei sticle de șampanie bine agitată în prealabil. Șampania va țâșni într-o explozie spumoasă.”

Acesta era doar un exemplu de astronomi aflați în căutarea originii galaxiilor, examinând limitele Universului observabil departe în spațiu și în timp. La lungimi de undă radio mult mai reduse, telescopul Atacama Large Millimetre Array a fost proiectat pentru platoul înalt al deșertului chilian, de către o echipă americano-europeană. Cele 64 de antene ale acestuia, cu diametre de 12 metri, urmau să detecteze praful fierbinte produs de prima generație de stele. În spațiu, o întreagă serie de telescoape infraroșii s-a alăturat în scopul cercetării celor mai tinere galaxii, în vreme ce telescoapele cu raze X căutau găuri negre primitive, apărute înaintea formării galaxiilor.

Între timp, s-au adunat dovezi vizuale care confirmă faptul că galaxiile s-au dezvoltat prin fuziunea roiurilor de stele mai mici, de la începutul timpului și până în prezent. Galaxiile cu forme spiralate elegante, de dimensiuni medii, reprezintă un fenomen mai comun timpurilor trecute decât prezentului, în timp ce elipticele ca niște pisici grase au devenit și mai expandate. Astronomii europeni care au utilizat telescopul spațial Hubble au raportat în anul 1999 că, dintre 81 de galaxii identificate într-un cluster îndepărtat, nu mai puțin de 13 reprezentau fie produsul unei coliziuni recente, fie perechi de galaxii în plin proces de coliziune.

● Unde sunt surorile Soarelui?

O abordare complementară a originilor galactice a constat în a ne uita în propria noastră curte, la cele mai vechi stele din galaxia noastră, Calea Lactee, precum și la galaxiile învecinate. Peste miliarde de ani de acum încolo, galaxiile Norilor Magelanici și Andromeda ar putea intra în coliziune cu Calea Lactee. În acest caz, atât spirala galaxiei noastre, cât și a Andromedei vor fi distruse, iar la finalul coliziunii, noul ansamblu format va intra în rândul elipticelor.

Dar aceste accidente de trafic nu au loc exclusiv în viitor. În 1994, astronomii de la Cambridge au detectat o galaxie de dimensiune redusă, cu un diametru de 10 ori mai mic decât Calea Lactee, care și acum orbecăie în partea îndepărtată a galaxiei noastre, dincolo de centrul acesteia din constelația Săgetătorului. Câțiva ani mai târziu, o echipă internațională din Olanda și Germania a realizat modele computerizate ale unor coliziuni repetate care ar distruge un astfel de invadator, însă care ar lăsa în urmă grupuri răzlețe de stele urmând direcții distincte prin spațiu.

Cu ajutorul celor mai recente informații obținute de satelitul european de cartografiere a stelelor, Hipparcos, Amina Helmi și colegii săi au identificat astfel de grupuri unite printre stelele bătrâne, care s-au aflat în cea mai mare parte a timpului într-un halo care înconjoară discul Căii Lactee. Aceste corpuri străine se deplasează cu o viteză de 250 de kilometri pe secundă de-a lungul discului, reprezentând în mod clar reminiscențe ale unei galaxii de dimensiune redusă cu care galaxia noastră a intrat în coliziune în urmă cu aproximativ 10 miliarde de ani. Această descoperire este comparabilă cu întâlnirea cu un grup de vikingi încă agresivi.

„Tot ceea ce am învățat despre galaxii în secolul al 20-lea reprezintă doar un preambul, care ne spune cam ce ar fi pe acolo”, spunea Amina Helmi, o tânără bursieră postdoctorală din Argentina, mereu în căutarea unor noi provocări. „Prin urmare, știm că galaxia noastră seamănă cu un ou ochi bombat la centru, în jurul căruia zumzăie clusteri globulari și stele halo, ca niște albine. Dar nu știm de ce este așa. Steaua noastră străină este doar un exemplu din zecile de stele halo observabile și din cele aproximativ 30 de milioane de stele a căror existență o putem deduce de aici, astfel că ne rămâne să descifrăm istoria multor milioane de alte stele, și asta numai în galaxia noastră.”

Ar trebui să privim fiecare stea ca pe o fosilă ce poate oferi indicii despre originea ei, iar această sarcină nu este atât de zadarnică precum ar putea sugera cifrele. Primul miliard de stele dintr-o analiză recentă a Căii Lactee urmează să fie cartografiat începând cu anul 2012, cu ajutorul cartografului stelar european, naveta spațială Gaia. Aceasta va oferi o imagine dinamică a galaxiei noastre, din care se pot deduce originile comune ale unor mari cohorte de stele. De asemenea, prin intermediul navetei Gaia și a altor misiuni spațiale, se va putea identifica cu mai multă precizie vârsta stelelor.

Descoperirea surorilor Soarelui, formate în urmă cu 4 500 de milioane de ani din același nor de gaz hrănitor, răspândite în prezent prin toată galaxia, nu va mai fi de domeniul imposibilului. De asemenea, va fi posibilă realizarea unei istorii complete a Căii Lactee, de la origini și până în prezent. Cu puțin noroc, o astfel de istorie s-ar putea dovedi asemănătoare poveștilor despre fuziunile și episoadele de formare a stelelor deduse cu ajutorul altor telescoape, pentru alte galaxii îndepărtate.

- Pentru alte perspective asupra evoluției galaxiilor, vezi **EXPLOZIILE STELARE, ELEMENTELE CHIMICE, GĂURILE NEGRE, MATERIA NEAGRĂ și STELELE.**



GĂURILE NEGRE

Extraordinarele motoare ale quasarilor
și ale galaxiilor active

"PURITATEA SIMȚURILOR" – așa a numit-o scriitorul și călătorul Robert Louis Stevenson. Numai o dată în viață poți experimenta pentru prima dată magia unei insule din Marea Sudului, care ți se dezvăluie pe măsură ce goeleta ta se apropie de ea. Și în cazul descoperirilor științifice, există momente unice pentru cei care le realizează sau pentru mulți dintre cei care află primii vestea. Apoi magia dispare treptat, lăsând locul unor banale informații pe care studenții le tocesc pentru examene. Aceeași soartă au avut-o și quasarii, stăpânii cerului.

În anul 1962, un radioastronom britanic, Cyril Hazard, se afla în Australia pentru a localiza un corp ceresc de dimensiuni extrem de reduse, dar care emitea intens unde radio. El îl urmărea cum dispărea în spatele Lunii ca pe urmă să reapară, utilizând noul radiotelescop de la Parkes, din New South Wales. Doar cu ajutorul inginerilor care au scos bolțurile imensei construcții el a reușit să încline radiotelescopul suficient de mult pentru a-l putea orienta în direcția corectă. Directorul observatorului, John Bolton, a permis această manevră, și a preluat chiar el însuși sarcina de a face observații atunci când Hazard a pierdut trenul de la Sydney.

Până în acel moment, obiectul nr. 273 din Al Treilea Catalog Cambridge al Surselor de Unde Radio, sau 3C 273 pe scurt, nu avea un corespondent vizibil pe cer de la care să provină undele radio. Poziția sa era cunoscută doar aproximativ, până când ocultarea Lunii observată la Parkes a dovedit că acesta corespundea unei stele cu luminozitate slabă din constelația Fecioarei (Virgo). Astronomul de origine olandeză Maarten Schmidt a examinat 3C 273 cu ajutorul celui mai mare telescop cu lumină vizibilă de pe atunci, instrumentul de la Mount Palomar din California, care avea diametrul de 5 metri.

El a realizat analiza spectrală a luminii provenite de la obiect și a obținut astfel spectrul ei, alcătuit din mai multe lungimi de undă. Structura liniilor spectrale era foarte neobișnuită, iar Schmidt și-a bătut capul timp de șase săptămâni pentru a înțelege fotografia spectrului. În februarie 1963 i-a picat în sfârșit fisa. El a recunoscut trei linii caracteristice hidrogenului, așa-numitele linii Lyman, observate în mod normal în domeniul ultraviolet. Lungimile lor de undă erau foarte mult deplasate spre roșu, ca efect al expansiunii Universului, ceea ce arăta că 3C 273 trebuia să se afle la miliarde de ani-lumină depărtare.

Obiectul era mult mai luminos decât o galaxie și mult prea longeviv pentru a fi o supernovă. Faptul că arăta ca o stea însemna că producea lumină dintr-un volum foarte mic și nicio teorie astrofizică convențională nu putea să explice aceasta. „M-am întors acasă neîncrezător”, își amintește Schmidt. „I-am spus soției: Este înfiorător. Astăzi mi s-a petrecut ceva incredibil.”

Înfiorător sau nu, se cerea un nume pentru această nouă clasă de obiecte – dintre care 3C 273 era cel mai strălucitor, însă nici pe departe singura sursă cvasistelară de unde radio. Astrofizicienii de la Centrul Goddard pentru Zboruri Spațiale (Goddard Space Flight Center) al NASA, care erau vorbitori nativi ai limbilor germană și chineză, i-au inventat denumirea la începutul anului 1964. Wolfgang Priester a sugerat denumirea de *quasar*, însă Hong-yee Chiu a obiectat, argumentând că Quasar era numele unui telescop. „Va trebui să fie quasar”, a spus acesta. Apoi cotidianul *New York Times* a adoptat termenul și așa a rămas.

Energia nucleară care alimentează Soarele și alte stele obișnuite nu putea justifica plauzibil producția de energie a acelui obiect. În anii care au urmat după localizarea lui 3C 273, astronomii au ajuns, cu părere de rău, la concluzia că doar un motor gravitațional ar putea explica quasarii. Ei au reinventat Minotaurul, creatura care trăia într-un labirint cretan și se hrănea numai cu tineri. În cazul acesta, labirintul era o galaxie, iar în miezul acestei vaste aglomerații de stele stătea la pândă o gaură neagră care se hrănea cu gaz sau cu stele care explodaseră.

În 1971, Donald Lynden-Bell și Martin Rees de la Cambridge aveau deja o teorie asupra fenomenului. Ei și-au imaginat că materia „condamnată” se rotește în jurul găurii negre, sub forma unui disc turtit numit disc de acrecție, și este atrasă în mod gradat pe o traiectorie spiralată către interior, asemenea apei care este absorbită printr-un orificiu de scurgere, degajând energie. Ideea a fost apoi dezvoltată pentru a explica fasciculele de particule și alte caracteristici ale quasarelor și ale obiectelor tumultuoase numite galaxii active.

În afara celor mai evidente quasari, o mare varietate de galaxii manifestă activitate violentă. Unele sunt extrem de luminoase în centru sau prezintă fascicule mari care țâșnesc din nucleele lor. Aceleași galaxii active sunt surse remarcabile de unde radio, de ultraviolete, de raze X și de raze gama, unele prezentând lobi generați de fasciculele de unde radio emise, asemenea unor aripi enorme. Se presupune că toate acestea adăpostesc quasari, chiar dacă adeseori nu sunt direct observabili din cauza prafului cosmic.

În 1990, Rees a constatat că ideile sale au fost acceptate la scară largă. „Există un consens”, scria el, „referitor la faptul că fiecare quasar, sau alt nucleu galactic activ, este alimentat de o gaură neagră imensă, de un milion sau de un miliard de ori mai mare decât Soarele. Un asemenea monstru copleșitor ar putea fi format în urma unei catastrofe dezlănțuite chiar în centrul galaxiei. Dacă gaura neagră este, în consecință, alimentată cu gaz și cu stele din împrejurimi, sau dacă interacționează cu câmpurile magnetice ale galaxiei, ea poate elibera cantități uriașe de energie necesare pentru a explica evenimentele violente”.

● O idee de-a gata

Din anul 1967, când teoreticianul american John Wheeler a inventat termenul care desemnează un loc din Univers unde gravitația poate atrage chiar și lumina, gaura neagră a intrat în limbajul cotidian ca reprezentând coșul de gunoi universal. Familiaritatea termenului nu ar trebui să minimalizeze importanța acestei descoperiri a minții omenești, de două ori surprinzătoare, atât datorită anticipării cât și utilizării ei de către Mama Natură.

Efectele neobișnuite asupra spațiului și timpului diferențiază găurile negre moderne de cele imaginate în era newtoniană. În anul 1784, John Michell, un preot din Yorkshire care s-a dovedit a fi un geniu al științei, i-a anticipat teoria lui Einstein, sugerând că lumina este supusă atracției gravitaționale. O stea de dimensiuni mari ar putea fi invizibilă, considera el, dacă atracția sa gravitațională ar fi prea puternică pentru a lăsa lumina să emeargă.

Încă de la începutul secolului al 20-lea, steaua gigantică a lui Michell a fost înlocuită de materia compactată din cauza gravitației la un volum foarte mic – atingând poate mărimea unui punct geometric, deși noi nu am putea vedea o astfel de dimensiune. Înconjurând masa, la o anumită distanță de centru, se află suprafața găurii negre prin care materia și lumina pot pătrunde în interior însă nu pot ieși în exterior. Această imagine a fost descrisă inițial de către Karl Schwarzschild care, aflat în mod prematur pe patul de moarte, la Potsdam, în 1916, a aplicat noua teorie a lui Albert Einstein referitoare la gravitație la un singur obiect masiv, cum ar fi Pământul sau Soarele.

Cel mai simplu mod de a calcula efectele obiectului asupra spațiului și timpului în jurul său pornește de la ipoteza că întreaga sa masă este concentrată în centru. Calculele lui Schwarzschild indicau prezența unei „membrane” magice care stopa lumina emergentă și chiar timpul însuși. Dacă Pământul ar fi comprimat pentru a deveni o gaură neagră, distanța de la suprafața sa până la centrul masiv ar fi de numai nouă milimetri. Această distanță, proporțională cu masa, se numește raza Schwarzschild, fiind utilizată în prezent pentru a caracteriza găurile negre.

Calculul matematic era una, iar realitatea găurilor negre – denumite stele negre sau stele colapsate până când Wheeler le-a inventat denumirea, era cu totul altceva. Einstein însuși a combătut conceptul, admirând totodată ingeniozitatea lui Schwarzschild. Ideea nu s-a mai dezvoltat însă până în anii 1960, când astrofizicienii s-au gândit la soarta stelelor foarte mari. Ei și-au dat seama că în momentul exploziilor stelare finale, miezul acestora ar putea colapsa sub o presiune la care nici măcar nucleele atomilor nu ar rezista. Materia ar dispărea, lăsând în urmă doar gravitația sa intensă, precum rânjetul Pisicii din Cheshire a lui Lewis Carroll.

Roger Penrose de la Oxford, Stephen Hawking de la Cambridge, Yakov Zel'dovich de la Moscova și Edwin Salpeter de la Cornell au fost printre cei care

au dezvoltat teoria găurilor negre stelare. Aceasta explica existența unora dintre sursele puternice de raze X din galaxia noastră, recent descoperite de sateliți. Astfel de surse aveau mase de câteva ori mai mari decât cea a Soarelui și sunt denumite în prezent microquasari. Ideea găurilor negre devenea astfel disponibilă, gata pusă la punct, pentru a explica existența quasarelor și a galaxiilor active care conțineau niște masive capcane gravitaționale.

● Verificarea cu raze X

Dar era această idee într-adevăr corectă? Cea mai bună dovadă timpurie a existenței găurilor negre a provenit din cercetarea minuțioasă a stelelor care orbitează în jurul centrelor galaxiilor active. Ele se rotesc cu o viteză foarte mare, care poate fi justificată numai de prezența unei mase enorme. Metoda calculării masei prin măsurarea vitezelor stelelor era oarecum laborioasă. În 2001, la Institutul de Astrofizică din Canare, Spania (Instituto de Astrofísica de Canarias), Alister Graham și colegii lui și-au dat seama că se poate aproxima masa doar prin observarea aspectului general al galaxiei.

Concentrarea materiei vizibile spre centru depinde de masa găurilor negre. Însă, în timp ce aceasta asigură un mod rapid și simplu de estimare, stârnea și controverse asupra modului în care apăruse această concentrare a materiei. „Știm acum că orice teorie viabilă a creșterii unei găuri negre supermasive trebuie corelată cu structura globală sau finală a galaxiei gazdă”, a spus Graham.

O altă metodă de verificare a scenariului a constituit-o identificarea și măsurarea diametrului discului de acreție al găurii negre, în care materia se spiralează până dispare. Timp de 14 ani, satelitul International Ultraviolet Explorer, proiect comun al NASA, al Europei și al Marii Britanii, a făcut observații frecvente asupra galaxiei active 3C 390.3. Ori de câte ori gaura neagră înghițea o bucată mai mare decât de obicei, emisiei de lumină îi lua mai mult de o lună până să ajungă la marginea discului și să o ilumineze. Prin urmare, discul de acreție avea un diametru de o cincime de an-lumină.

Meritele confirmării teoriei găurilor negre au revenit însă astronomilor care lucrau în domeniul razelor X. Acest fapt nu este surprinzător deoarece înaintea dispariției într-o gaură neagră materia devine atât de incandescentă încât emite raze X, care sunt cele mai potrivite pentru a studia riguros o gaură neagră.

Emisiile ionilor multipli ai fierului, fluorescenți în raze X, din centrul unei galaxii active, au condus la rezultatul dorit. Fiecare foton X are o energie specifică de 6 400 electron-volți, egală cu aceea a unui electron accelerat la o tensiune de 6 400 de volți. Numită linia K-alfa a fierului, ea a fost detectată de cercetătorii englezi și japonezi care studiau în mod independent galaxiile, în 1989, cu ajutorul satelitul japonez Ginga cu raze X.

„Această emisie a atomilor de fier va fi un deschizător de drumuri pentru astronomi”, a spus Ken Pounds de la Leicester, conducătorul echipei care făcuse

descoperirea. „Colegii noștri care studiază Universul relativ rece al stelelor și al gazului interstelar se bazează foarte mult pe liniile din ultraviolet Lyman-alfa ale atomilor de hidrogen. Linia fierului K-alfa va avea un rol similar pentru Universul fierbinte al găurilor negre.”

Activitatea violentă din apropierea găurilor negre ar trebui să modifice energia aparentă a acestei emisii a fierului. Andy Fabian de la Cambridge și colegii săi au prezis un semnal diferit, în cazul în care razele X ar proveni într-adevăr de la atomii care se rotesc cu viteză mare în jurul unei găuri negre. Razele X provenite de la atomii care se apropie de Pământ par să aibă o energie mai mare, pe când cele provenite de la cei care se îndepărtează par să aibă mai puțină energie.

Într-un spectru de raze X, semnalele ar trebui să fie asemenea unor coarne de taur. Adăugând însă și efectul de încetinire a timpului în apropierea unei găuri negre, toți fotonii vor părea că au o energie mai mică. Semnalul devine astfel un cap de taur asimetric, deformat și aplecat către energiile mai mici, corespunzând efectului de încetinire a timpului. Cum niciun alt obiect la scală galactică nu ar putea falsifica acest spectru, detectarea sa ar confirma o dată pentru totdeauna existența găurilor negre.

Lansat în 1993, ASCA, satelitul japonez pentru cosmologie și astrofizică (Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics), a fost primul satelit capabil să analizeze în detaliu emisiile de energii înalte. În anul următor, ASCA a petrecut mai mult de patru zile captând razele X provenite de la o galaxie în formă de ou din constelația Centaurului (Centaurus). MCG-6-30-15 era doar unul dintre numeroasele obiecte asemănătoare incluse în Catalogul Morfologic al Galaxiilor, alcătuit de astronomii ruși, și care sunt bănuite că ar adăposti găuri negre gigantice, dar numai el a intrat în istorie.

Spectrul emisiilor K-alfa ale atomilor de fier era conform predicției lui Andy Fabian. Atomii orbitau în jurul sursei gravitaționale cu 30% din viteza luminii. Timpul încetinit în vecinătatea găurii negre reducea energia aparentă a tuturor emisiilor cu aproximativ 10%.

„Confirmarea realității găurilor negre a fost întotdeauna ținta principală a astronomiei cu raze X”, a afirmat Yasuo Tanaka, de la Institutul de Științe ale Spațiului și Astronauticii din Japonia (Institute for Space and Astronautical Science). „Satelitul nostru nu a fost mare, ci de precizie și proiectat pentru a face descoperiri cu razele X de energii mari. Am fost mulțumiți în momentul în care ASCA ne-a arătat cu exactitate că găurile negre se comportă așa cum am prevăzut.”

● Caruselul spațio-temporal

În anul 1999, ASCA a fost urmat în spațiu de alți sateliți cu raze X de dimensiuni mult mai mari. Satelitul Chandra, aparținând NASA, era cel mai performant

dintre cele două, iar XMM-Newton al Agenției Spațiale Europene (ESA) era dotat cu telescoape și spectrometre foarte sensibile pentru detectarea și analiza razelor X. XMM-Newton a făcut progrese în verificarea găurilor negre, cercetând MCG-6-30-15 din nou, precum și o altă galaxie activă, Markarian 766, din constelația Coma.

S-a dovedit că găurile negre asociate acestor obiecte se află într-o mișcare de rotație. În jargonul specific, ele nu erau găuri negre Schwarzschild, ci găuri negre Kerr, denumite astfel după Roy Kerr de la Universitatea din Canterbury, Noua Zeelandă. El studiase, încă din 1963, posibilele efecte ale unei găuri negre rotitoare.

O predicție-cheie a fost aceea că raza unei găuri negre Kerr ar fi doar jumătate din raza Schwarzschild a aceleiași găuri negre, calculată fără contribuția rotației. O altă predicție a fost că gazul care este absorbit de gaura neagră s-ar putea roti pe orbite staționare, permițând observarea acestuia mult mai aproape de suprafața găurii negre. Randamentul de conversie a masei-energiei materiei în radiație, în cazul unei găuri negre rotitoare, este de șase ori mai mare.

Cea mai uluitoare a fost însă predicția că rotația găurii negre ar crea o tornadă, nu în spațiu, ci a spațiului. Structura spațiului însuși devine fluidă. Dacă cineva ar sta nemișcat într-un asemenea mediu, s-ar trezi învârtindu-se în jurul axei proprii ca într-un carusel, cu o viteză de până la jumătate din cea a luminii. Aceasta se petrece în mod independent față de orice mișcare obișnuită pe o orbită în jurul găurii negre.

O echipă britanico-americano-olandeză de astronomi care a utilizat satelitul XMM-Newton pentru a studia galaxiile active în vara anului 2000 nu a reușit inițial să înțeleagă cauza razelor X emise. Spre deosebire de descoperirea ASCA referitoare la spectrul de emisie al atomilor de fier, care fusese prezis cu exactitate, spectrele obținute de XMM-Newton erau derutante. În cele din urmă, Masao Sako, doctorand la Columbia, a identificat sursele emisiilor ca fiind atomi de oxigen, de azot și de carbon foarte fierbinți și foarte rapizi. Aceștia au fost observați mult mai aproape de centrul de masă decât dacă gaura neagră nu s-ar fi rotit.

„XMM-Newton ne-a surprins, scoțând la iveală caracteristici la care nimeni nu se aștepta”, a comentat Sako. „Aceasta înseamnă că putem face cercetări asupra regiunilor din vecinătatea imediată a acestor găuri negre gigantice, descoperind cu ce se hrănesc și cum funcționează sistemul lor digestiv, și că putem verifica teoria gravitației a lui Einstein în condiții extreme.”

Imediat după acesta, aceeași navă spațială a detectat un carusel spațio-temporal asemănător în jurul unui obiect mult mai mic, probabil o gaură neagră stelară din constelația Ara, denumită XTE J1650-500. După mai mult de 30 de ani de controverse, calcule, ipoteze și investigații, teoria găurilor negre a fost în sfârșit acceptată.

● Aventura continuă

Găuri negre gigantice există în multe galaxii normale, inclusiv în Calea Lactee. Astfel, quasarii și activitatea asociată lor pot fi evenimente periodice, care pot apărea în orice galaxie atunci când o perturbare furnizează găurii negre centrale rezerve noi de stele și de gaz. Acest efect poate fi produs și de o ciocnire cu o altă galaxie.

Exact în centrul galaxiei noastre, care se află în constelația Săgetătorului (Sagittarius), există o sursă mică dar intensă de unde radio și raze X, denumită Sagittarius A* (se pronunță A-star). Emisiile de aici, precum și alte simptome similare, au fost timp îndelungat puse pe seama unei găuri negre averse, de milioane de ori mai masivă decât Soarele, care și-a epuizat în cea mai mare parte materialul disponibil din vecinătate și se află astfel într-o stare de repaus relativ.

Îmbunătățirile aduse telescoapelor cu lumina vizibilă au permis astronomilor să urmărească mișcările stelelor până în apropierea centrului galaxiei. O echipă internațională de astronomi condusă de Rainer Schödel, Thomas Ott și Reinhard Genzel, de la Institutul Max Planck pentru Fizică Extraterestră din Germania, a început să lucreze în Chile folosind un nou instrument, Very Large Telescope (VLT) al Agenției Spațiale Europene. În primăvara anului 2002, echipa a putut observa că o stea denumită S2, urmărită și de alte instrumente timp de 10 ani, s-a apropiat la circa 17 ore-lumină distanță de presupusa gaură neagră. Ea avea o viteză de 5 000 de kilometri pe secundă.

„Suntem acum capabili să demonstrăm cu certitudine că Sagittarius A* indică într-adevăr poziția masei întunecate centrale despre care știam că există”, a afirmat Schödel. „Chiar mai important, noile informații au diminuat cu un factor de câteva mii volumul în care sunt conținute cele câteva milioane de mase solare”. Cea mai bună estimare a masei găurii negre era de 2,6 milioane de ori masa Soarelui.

Există o relație importantă, însă nesigură, între galaxii și găurile negre pe care ele le găzduiesc. Acest fapt a devenit mai evident atunci când telescopul spațial Hubble a detectat prezența unor obiecte cu mase intermediare, cuprinse între masele găurilor negre stelare (adică de câteva ori masa Soarelui) și masele găurilor negre gigantice aflate în centrele galaxiilor (de milioane sau de miliarde de ori mai mari). În 2002 au ieșit la iveală și găurile negre cu mase de câteva mii de ori mai mari decât masa Soarelui, detectate datorită mișcărilor rapide ale stelelor apropiate din interiorul unor aglomerări dense denumite roiuri stelare sau clusteri globulari.

Roiurile stelare sunt obiecte frumoase și foarte vechi care se rotesc pe orbite independente în jurul centrului Căii Lactee sau al altor galaxii plate și spiralate similare. În M15, un roi stelar din constelația Hercule, telescopul Hubble a detectat prezența unei găuri negre cu o masă de 4 000 de ori mai mare decât cea a Soarelui. În G1, un roi stelar din galaxia vecină Andromeda, gaura neagră

descoperită este de 5 ori mai mare. Karl Gebhardt de la Texas-Austin, membru al echipei care a realizat această descoperire, a comentat: „Găurile negre cu masă intermediară descoperite cu ajutorul lui Hubble ar putea reprezenta cărămizile de bază ale găurilor negre de dimensiuni gigantice existente în centrele celor mai multe galaxii”.

O altă idee răspândită este aceea că găurile negre ar reprezenta primele obiecte create din gazul primordial, chiar înaintea primelor stele. Într-adevăr, radiațiile și fasciculele de particule produse de aceste găuri negre timpurii ar fi putut ajuta la coagularea materiei pentru crearea stelelor. Pentru evidențierea găurilor negre primordiale, îndepărtate spațial, deci și temporal, ar fi necesar un satelit pentru raze X de dimensiuni extrem de mari.

Telescoapele pentru raze X de la începutul secolului al 21-lea, Chandra și XMM-Newton, au investigat surse foarte îndepărtate și au descoperit o multitudine de noi galaxii și quasari ce emiteau raze X care nu fuseseră detectate anterior. Acestea au confirmat existența găurilor negre în istoria timpurie a Universului și au justificat o mare parte, însă în niciun caz în întregime, fundalul cosmic de radiație X care umple întregul spațiu cosmic.

Xeus, un concept de satelit studiat de Agenția Spațială Europeană, ar urma să caute sursele primordiale dispărute. Acesta ar putea fi atât de mare încât s-ar dispensa de tubul telescopului, și ar avea detectoarele pe un satelit separat de oglinzile rotitoare utilizate pentru a focaliza razele X cosmice. Precizia lui Xeus ar urma să o depășească pe cea a lui XMM-Newton inițial cu un factor de 40 și apoi cu un factor de 200, în momentul în care se vor adăuga noi segmente de oglindă la Stația Spațială Internațională, pentru a conferi telescopului pentru raze X un diametru de 10 metri.

Examinarea directă a suprafeței negre de la care provine denumirea de gaură neagră este prima prioritate a unui program american rival, proiectat pentru anul 2020, denumit Maxim. Acesta va utiliza o tehnică denumită interferometrie cu raze X, despre care testele de laborator efectuate de către Webster Cash din Colorado și de către colegii săi au arătat că oferă o claritate a imaginii de un milion de ori mai bună decât Chandra. Ideea de bază este de a se colecta razele X provenite de la o gaură neagră și din vecinătatea acesteia prin intermediul a douăzeci sau treizeci de oglinzi simple plasate pe orbită în jurul ei, situate la distanțe precis măsurate de până la un kilometru unele de altele. Razele reflectate de oglinzi sunt apoi captate de o navă spațială detectoare situată la 500 de kilometri în spatele oglinzilor.

Proiectul Maxim urmează să asigure tehnologia prin care se poate obține o imagine a unei găuri negre. Găurile negre gigantice din centrul unor galaxii relativ apropiate, cum ar fi M87 din constelația Fecioarei (Virgo), ar trebui să fie detectate cu mai mare ușurință prin acest ansamblu de nave spațiale. „Astfel de imagini ar furniza dovezi incontestabile ale existenței acestor obiecte”, au susținut Cash și colegii săi. „Imaginile ne-ar permite totodată să studiem aplicarea fizicii exotice în imediata vecinătate a găurilor negre.”

● O mulțime de monștri

Până la apariția acestor noi instrumente, cu ajutorul celor deja existente sau în stadiu final de realizare se pot face încă multe în privința găurilor negre. Spre exemplu, nu toată lumea este mulțumită că toate manifestările de violență din galaxii se pot explica prin unghiuri de vedere diferite sau prin faze diferite ale unui ciclu de activitate ale unui singur quasar. În 1983, Martin Gaskell de la Cambridge a sugerat că anumiți quasari se manifestă ca și cum ar fi gemeni.

Astronomii finlandezi au ajuns la o concluzie similară. Ei au desfășurat cel mai sistematic program din lume de monitorizare a galaxiilor active, folosind radiotelescoapele pentru unde milimetrice de la Kirkkonummi, în Finlanda, și de la La Silla, în Chile. Observând mișcările din peste 100 de galaxii, timp de mai bine de 20 de ani, Esko Valtaoja de la Turku a intuit posibilitatea existenței mai multor găuri negre gigantice în nucleeele celor mai active galaxii.

„Dacă multe galaxii au găuri negre centrale și multe galaxii au fuzionat, atunci este normal să ne așteptăm la numeroase cazuri în care două sau mai multe găuri negre coexistă”, a spus Valtaoja. „Avem dovada coexistenței a cel puțin două găuri negre în câteva dintre galaxiile noastre active și în quasari. De asemenea, există o asemănare extraordinară între erupțiile galaxiilor, ca și când legătura dintre găurile negre și jeturile acestor erupții s-ar supune unei legi simple și fundamentale. Înțelegerea acestei mulțimi de monștri este cea mai mare provocare în acest domeniu de cercetare”.

Satelitul Chandra a confirmat direct pentru prima dată existența a două găuri negre gigantice într-o galaxie, observând NGC 6240 din constelația Ophiuchus. Aceasta este o galaxie hiperactivă, apărută prin fuzionarea a două galaxii, proces care a provocat o frenezie a formării stelelor. Ideea lui Gaskell și a lui Valtaoja a fost astfel strălucit confirmată.

- *Pentru mai multe detalii despre teoria generală a relativității a lui Einstein, vezi GRAVITAȚIA. Referitor la utilizarea unei găuri negre drept sursă de energie, vezi ENERGIA ȘI MASA. Pentru mai multe informații despre evoluția galaxiilor, vezi GALAXIILE ȘI EXPLOZIILE STELARE.*



Cuvinte de înțelepciune ale strămoșilor noștri, în patru culori

B ARĂCILE PREFABRICATE au dispărut demult, însă pasajele cu arcade victoriene care duceau spre curtea în care erau amplasate se pot vedea încă la Cambridge, pe Alea Free School. Portalul ar fi trebuit să aibă o reclamă pentru excursii de iarnă la Stockholm, atât de mulți erau fizicienii tineri care au lucrat la laboratorul Cavendish și care au primit Premiul Nobel. Lawrence Bragg a primit acest premiu chiar înainte de absolvire, pentru meritul de a fi inițiat analiza structurii cristalelor cu ajutorul razelor X.

Mai târziu, ca profesor la Cavendish, Bragg a pus la cale deturnarea biologiei de către fizică. În barăcile prefabricate, el a dezvoltat și a protejat un Consiliu de Cercetare Medicală pentru Studiul Structurii Moleculare a Sistemelor Biologice. Mica sa echipă condusă de austriacul Max Perutz s-a dedicat folosirii razelor X pentru a descoperi structurile atomice tridimensionale ale materiei vii.

În 1950, pe când Perutz se afla în toiul unei misiuni dificile, de descoperire a formei unei proteine, hemoglobina, „un tânăr ciudat, tuns scurt și cu ochii proeminenți a intrat brusc pe ușă și a întrebat imediat după ce a salutat: «Pot să lucrez și eu aici?»”

Era Jim Watson. Ce a urmat a fost povestit de multe ori, în diferite variante. Copilul-minune al geneticii, în vârstă de 22 de ani, din Chicago, a făcut echipă cu fizicianul Francis Crick, în vârstă de 34 de ani. După spusele lui Perutz, „aceștia împărtășeau aceeași aroganță sublimă a oamenilor care nu și-au întâlnit decât rareori egalul”. În timp ce Crick avea o bază solidă în domeniul fizicii, Watson venea cu intuiția duplicității chimice a vieții.

În 1944, pe când Crick lucra la construirea minelor marine, iar Watson era un student precoce, Oswald Avery și colaboratorii săi de la Institutul Rockefeller din New York identificaseră structura chimică a informației ereditare – genele. Acestea nu se aflau în moleculele proteice, așa cum se presupusese până atunci. În schimb, erau prezente în toate celulele sub forma unor fire filamentoase, numite acizi nucleici, descoperite în 1871 de către Friedrich Miescher de la Basel. Un tip de fibre conținea molecule de riboză (o monozaharidă), de aceea a fost denumit acid ribonucleic sau ARN. În 1929 s-a descoperit un nou tip, în care ribozei îi lipsea unul dintre atomii de oxigen – și a fost denumit acid dezoxiribonucleic sau

ADN. ADN-ul, care figura în rezultatele cercetărilor lui Avery, le-a atras atenția lui Watson și lui Crick.

În 1953 aceștia au descoperit că ADN-ul are o formă de dublă elice, asemenea unei scări răscucite. Între cele două coloane, formate din lanțuri identice de zaharuri și fosfați, se aflau trepte care uneau subunitățile numite baze, câte una de pe fiecare lanț în parte. De la chimiști, Crick și Watson știau, de asemenea, că există patru tipuri de baze: adenină, timină, citozină și guanină, notate cu A, T, C și G. Realizând modele ale moleculelor, aceștia au observat faptul că pentru a forma trepte de lungime egală, A se lega întotdeauna de T, iar C de G.

„Am observat, de asemenea, faptul că modul specific de împerechere pe care l-am postulat indică imediat un posibil mecanism de copiere a materialului genetic.” Acea remarcă din finalul lucrării scurte pe care Crick și Watson au trimis-o revistei *Nature* sugera o concluzie foarte importantă. ADN-ul era construit la comandă în vederea reproducerii. Replicarea lui se putea realiza prin separarea celor două lanțuri și așezarea unor noi lanțuri de-a lungul fiecăruia dintre ele, cu o nouă bază A legată de fiecare bază de tip T, cu o nouă bază T legată de fiecare bază de tip A, la fel și bazele de tip C și G.

Aceasta a fost o descoperire epocală. Bucuria descoperirii a fost însă umbrită de dispariția prematură a Rosalindei Franklin, cea care obținuse imagini de o importanță crucială ale ADN-ului cu ajutorul razelor X, la King's College din Londra. Ea ar fi primit Premiul Nobel, în 1962, împreună cu ceilalți doi cercetători, Watson și Crick, dacă nu ar fi murit în 1958. Șeful ei, Maurice Wilkins, a împărțit premiul cu Watson și cu Crick, ceea ce s-ar fi putut întâmpla chiar dacă Rosalind Franklin ar mai fi fost în viață. Simpla presupunere a acestui fapt a declanșat cea mai vehementă reacție feministă în presă, de atunci încolo.

La Institutul Pasteur din Paris a apărut o schimbare de perspectivă asupra rolului genelor în viața de zi cu zi. Ideea învechită referitoare la ereditate era că genele influențează formarea unui organism, iar apoi devin inactive până în momentul reproducerii. Chiar și după ce oamenii de știință au înțeles că genele intră în acțiune ori de câte ori o celulă vie se divide, se considera că acestea devin pasive în intervalele dintre diviziuni. Prin cercetările pe pacienți care au început în anii 1940, François Jacob, André Lwoff și Jacques Monod au arătat faptul că genele lucrează în fiecare moment al vieții celulei și, în plus, ele la rândul lor sunt controlate de alte gene.

Folosind o specie a bacteriei *Escherichia coli* extrasă din intestinul lui Lwoff, cercetătorii francezi au supus culturile la diferite forme de înfometare, întrerupte numai prin hrănire cu anumite alimente. Ei au observat activarea genelor pentru a comanda producerea proteinelor specializate, enzimele, necesare pentru digestia respectivelor alimente. Numai când a apărut structura ADN-ului au înțeles că ceea ce făceau ei, un genetician, un microbiolog și un biochimist, era biologie moleculară.

Analiza lui Edgar Allan Poe a dublului bluf la poker l-a inspirat pe Monod în determinarea modului în care era reglată acțiunea genelor. Genele bacteriene

răspunzătoare de producerea enzimelor nu erau activate printr-un semnal direct. În schimb, factorul declanșator era tocmai lipsa unui asemenea semnal care reprimă gena. Reprimarea era starea normală a genei dacă celula era deja bine aprovizionată cu enzima respectivă, sau dacă nu avea deloc nevoie de aceasta.

Mecanismul controlului genelor avea să devină tema majoră a biologiei moleculare. Monod nu s-a înșelat prezicând „dezvoltarea disciplinei noastre care, transcenând domeniul său original, chimia eredității, este astăzi orientată către analiza unor fenomene biologice mult mai complexe: dezvoltarea organismelor superioare și modul de operare a rețelelor lor de coordonare funcțională.”

● Deși pe teren nesigur, bătrâna genetică și-a făcut datoria

La câțiva ani după ce structura ADN-ului s-a ivit pe neașteptate în lume, un reporter l-a întrebat pe directorul unui faimos institut de genetică animală din Scoția: ce influență a avut descoperirea Watson-Crick asupra cercetărilor institutului? Nevinovata întrebare a primit drept răspuns, pe un ton aspru: „O, dar aceea nu este genetică autentică!”

Directorul înțelegea prin genetică autentică genul de acțiune pe care a inițiat-o Gregor Mendel, în grădina mănăstirii din Brunn, Austria, prin încrucișarea diferitelor varietăți de mazăre. În 1865, cu răbdare și cu o fină intuiție, Mendel a dedus existența factorilor elementari ai eredității. Aceștia erau perechi, câte unul de la fiecare părinte, și se comportau într-un mod predictibil din punct de vedere statistic. Împletită fiind cu elemente simple de matematică, activitatea lui Mendel n-a fost pe placul botaniștilor, și ca urmare a fost ignorată. După 35 de ani, experimentatorii din Germania, Austria și Olanda au obținut rezultate similare în experimentele de încrucișare. Aceștia au revăzut literatura de specialitate și au descoperit că rezultatele lor fuseseră anticipate.

Secolul al 20-lea a fost într-o mare măsură „secolul genelor”, de la redescoperirea factorilor ereditari ai lui Mendel în 1900 și până la un anunț preliminar al președintelui american, în 2000, referitor la decodificarea întregului stoc al genelor umane, genomul uman. Genetica s-a lansat tratând, într-un mod esențial matematic, factorii ereditari identificați și evaluați în funcție de consecințele lor. Treptat, perspectiva moleculară asupra genelor, care a apărut la mijlocul secolului, a devenit predominantă în genetică.

În Uniunea Sovietică, genele lui Mendel nu erau corecte din punct de vedere politic. Academia de Științe Agricole „Lenin” a acceptat oficial, sub presiunea lui Iosif Stalin, opinia lui Trofim Lisenko că genetica era o invenție burgheză care submina adevărata teorie materialistă a dezvoltării biologice. Aceasta se petrecea în 1948, deși influența malefică a lui Lisenko a fost resimțită cu mult timp înainte. Până la răsturnarea lui, în 1965, reprimarea geneticii în Uniunea Sovietică și în țările est-europene satelitare ei a dăunat agriculturii și biologiei, de la fluviul Elba și până la strâmtoarea Bering.

Deși se aflau pe teren nesigur, fără a cunoaște structura fizică a genelor, geneticienii occidentali au aplicat cu succes descoperirea lui Mendel pentru a accelera creșterea culturilor îmbunătățite și a animalelor domestice. Ajutând la hrănirea populației mondiale în continuă creștere, aceștia au înfrânt prezicerea privind foametea globală. Ei au avut, de asemenea, o contribuție medicală însemnată la stabilirea tipurilor de sânge, a tipurilor de țesut și la analiza bolilor ereditare.

● Spargerea codului genetic

Între timp, biologii moleculari continuau cursa decodificării informației genetice. Chiar înainte de a fi aflată structura ADN-ului, se părea că subunitățile sale, cu bazele A, T, C și G, transportă un anumit gen de mesaj. La începutul anilor 1960, Crick împreună cu trei colegi au demonstrat că acest cod era scris în secvențe de cuvinte de câte trei litere. Fiecare triplet de baze specifica o subunitate a proteinei – aminoacidul ce urma să fie adăugat în lanțul crescând al unei molecule proteice în formare.

Spărgătorii de coduri au fost ajutați de descoperirea faptului că moleculele mesager, alcătuite din acid ribonucleic (ARN) transcriu instrucțiunile genelor și le trimit la fabricile de proteine. Marshall Nirenberg de la Institutul Național de Sănătate al Statelor Unite (US National Institutes of Health) a început decodificarea introducând mesaje ARN false și descoperind cum erau traduse acestea în proteine. La jumătatea anilor 1960 întregul cod era cunoscut. Mai mulți tripleți de litere ADN pot să specifice același aminoacid și în acest fel poate fi citită compoziția exactă a proteinei pornind de la genă. Dar procesul invers de traducere a proteinei în informație genetică este ambiguu.

În acea perioadă, biologii moleculari credeau că fluxul de informații genetice de la gene la proteine era un drum cu sens unic. O genă era transcrisă într-un ARN mesager, care la rândul său era tradus într-o proteină. Acest proces li se părea suficient de fundamental și de larg răspândit pentru ca Francis Crick să-l numească „Dogma centrală”. A fost una din maximele cu cea mai scurtă viață din istoria gândirii omenești.

Virusurile binecunoscute își poartă genele exclusiv în forma ARN-ului, mai degrabă decât în forma ADN-ului. Atunci când invadează o celulă, ele își hrănesc ARN-ul cu ajutorul fabricilor de proteine ale gazdei pentru a crea proteinele necesare producerii altor virusuri. „Dogma centrală” nu este încălcată. Însă în 1970, Howard Temin de la Wisconsin-Madison și David Baltimore de la Institutul Massachusetts de Tehnologie au anunțat simultan faptul că virusurile ce cauzează cancerul au o enzimă care le permite să transforme genele lor ARN în ADN. Fiind introduse printre genele gazdei, acestea sunt apoi tratate ca și cum ar fi gene obișnuite.

Enzima a fost denumită reverstranscriptază și aceste virusuri au fost poreclite retrovirusuri datorită comportamentului lor antidogmatic. Acest termen a devenit

ulterior notoriu deoarece SIDA este cauzată de un retrovirus. Însă descoperirea a adus de asemenea la lumină originea retrovirusurilor și a rolului lor în cancer.

În afară de metoda lor insidioasă de reproducere, virusurile sunt purtătoare de gene cancerigene care reprezintă versiuni mutante ale genelor din celulele normale, răspunzătoare de controlul diviziunii și creșterii celulelor. În mod evident, retrovirusurile au capturat mai întâi genele de la o gazdă infectată și le-au încorporat în propriul lor material genetic. Această analiză a ajutat la evidențierea genelor-cheie implicate în cancer, în cazul căruia mutațiile cauzate de radiații sau de substanțe chimice pot duce la proliferarea necontrolată a celulelor.

● Gene fragmentate

Al doilea aspect al „Dogmei centrale” a lui Crick, faptul că o genă descrie o proteină, a fost infirmat de o altă descoperire care „a făcut genele bucăți”. În 1977, la Laboratorul Cold Spring Harbor din Long Island și la Institutul Massachusetts de Tehnologie, Richard Roberts și Phillip Sharp au investigat simultan, dar independent, ADN-ul adenovirusului care provoacă răceala obișnuită la oameni. Aceștia au descoperit că o moleculă mesager care transcrie o singură genă și-a obținut informația din patru locuri diferite ale lanțului ADN al virusului.

Cu alte cuvinte, gena era alcătuită din mai multe segmente de ADN, ulterior numite exoni, separate prin bucăți irelevante de ADN, sau introni. Cu ajutorul microscopului electronic puteau fi văzute în moleculele mesager niște bucle mari, superflue, formate din introni. Mecanismul care „citea” genele celulei trebuia să elimine aceste bucle pentru a face o transcriere corectă.

Asemenea gene cu structuri discontinue s-au dovedit a fi forma normală a materialului ereditar în organisme mai complexe decât bacteriile, inclusiv oamenii. Atunci când biologii moleculari au cercetat natura segmentelor de ADN activ, exonii, au descoperit că aceștia determinau deseori construirea unui domeniu important al unei molecule proteice. Dacă asemănăm molecula proteică rezultantă cu o păpușă, un exon furnizează corpul, iar ceilalți exoni capul, brațele, picioarele, ochii și vocea ascuțită.

Eliminarea intronilor și asamblarea corectă a exonilor – proces numit „splicing” – introduce un redactor în etapa de transfer a instrucțiunilor de la gene la mecanismele celulare care execută instrucțiunile. Astfel devine posibilă redactarea – modificarea mesajului pentru a fi compatibil cu cititorul. În timp ce intronii sunt îndepărtați, exonii selectați pentru a fi păstrați în ARN-ul mesager final pot fi modificați. Aceasta nu era o intervenție stângace. Redactarea însăși se află sub un control genetic mai vast, în funcție de circumstanțe, în diferite etape ale vieții unui organism și în diferite țesuturi ale corpului.

Splicingul alternativ înseamnă că aceeași regiune de ADN poate influența structura mai multor proteine diferite. Din nefericire, pot apărea și greșeli, ca, de exemplu, în boala sângelui numită beta-talasemie, unde asamblarea defectuoasă

datorată unei mutații a dat naștere unor molecule de hemoglobină defecte. Însă organizarea genelor în exoni aduce noi oportunități evolutive, de genul kiturilor de construcție – ca și cum am fabrica păpuși cu capete, corpuri și membre diferite.

Între timp, în 1972, Paul Berg de la Stanford a arătat cum pot fi folosite enzimele naturale pentru a elimina o genă dintr-un organism și a o introduce în altul. Acest lucru a dat startul folosirii ingineriei genetice în scopuri practice, însă în spatele ușilor laboratoarelor, transferul de gene rămânea o mină de aur a cercetării fundamentale. Putea fi inserată orice genă într-o bacterie, iar bacteria putea fi cultivată până când se obțineau milioane de copii ale genei. Astfel, se realizau destule exemplare ale genei pentru analizele intensive necesare citirii secvenței de litere a codului asociat genei.

În anii 1980 a apărut o altă metodă de multiplicare a ADN-ului. Această metodă se dispensa de bacterie și folosea doar enzima numită ADN-polimerază pentru a copia genele. Prin încălzirea ADN-ului se separă benzile răsucite ale dublei elice, procesul putând fi repetat de multe ori, dublându-se și redublându-se numărul de copii într-o reacție în lanț. Ideea i-a venit lui Kary Mullis de la compania Cetus în timpul unei plimbări cu mașina împreună cu prietena lui. „Erau vremuri efervescente”, spunea el, „biotehnologia înflorea și, într-o noapte de primăvară pe când castanii erau și ei înfloriți, am descoperit din întâmplare reacția de polimerizare în lanț”.

● Cum să citim toate genele

A avea o mulțime de copii ADN era o condiție necesară însă nu și suficientă pentru citirea informației sale. Cel mai simplu mod de a-l citi a fost descoperit la Cambridge, dar nu în cadrul universității. Prin una dintre cele mai stranii decizii din istoria universității, Cambridge a renunțat la colaboratorii inovatori ai lui Perutz, laureați ai Premiului Nobel. În 1962, Consiliul pentru Cercetări Medicale din Marea Britanie i-a reînstatat într-un nou Laborator de Biologie Moleculară în campusul unui spital din afara orașului.

Acolo, Fred Sanger, care primise deja un Premiu Nobel pentru descoperirea compoziției exacte a unei proteine, insulina, și-a asigurat cel de-al doilea Premiu Nobel pentru inventarea unei modalități moderne de a citi rapid genele. El și colaboratorii lui și-au petrecut cea mai mare parte a anilor 1970 perfecționând metoda ce avea să fie numită dideoxi sau metoda Sanger. Aceasta folosește mecanismul molecular al ADN-polimerazei pentru a copia benzile de ADN, așezând subunitățile A, T, C și G în ordine corectă. Însă stopează procesul în mod aleator introducând subunități defecte.

O denumire chimică prescurtată a subunității A, de exemplu, este deoxiadenina (numele complet fiind adenildeoxiribofosfat sau acidul deoxiadenilic). Dacă scoatem un atom de oxigen obținem dideoxiadenina. O vom adăuga amestecului de subunități normale ce este disponibil pentru utilizare. Procesul de copiere al

ADN-ului începe întotdeauna de la un capăt al lanțului. Când în procesul de asamblare este aleasă întâmplător varianta dideoxi, lanțul ADN nou format va fi încheiat în acel moment.

Putem fi siguri că formarea lanțului s-a terminat exact acolo unde codul presupunea inserarea unei subunități A. Partea norocoasă a procesului constă în faptul că vom obține multe benzi de diferite lungimi care însă se vor încheia toate cu subunitatea A. Dacă am construit destule spirale, fiecare subunitate A a mesajului genetic va fi etichetată. Apoi vom realiza, de asemenea, variante dideoxi ale subunităților T, C și G, pentru a încheia copierea lanțului cu subunitățile corespundente. Vom eticheta fiecare tip de dideoxi, de exemplu cu câte un colorant fluorescent diferit. Le adăugăm amestecului și lăsăm lanțurile să se multiplice.

Acum urmează partea cea mai interesantă. Putem separa spiralele ADN care s-au format astfel, în funcție de lungime, trimițându-le de-a lungul unei piste electrice situată într-o substanță gelatinoasă specială numită gel de uree – poliacrilamidă. Cu cât spirala este mai scurtă, cu atât călătorește mai departe, iar tehnica este suficient de precisă pentru a separa spiralele care diferă în lungime cu o singură subunitate. În final, vom ilumina gelul și, coloranții fiind fluorescenți, vom putea citi subunitățile A, T, G și C în ordinea corectă ca pe niște cuvinte de înțelepciune ale strămoșilor noștri, în patru culori.

Astfel, metoda dideoxi a lui Sanger a servit, în maniera sa precisă și automată, la citirea tuturor genelor corpului uman – genomul uman. Principiul este același cu cel pe care-l folosisese prima dată pentru citirea ADN-ului unui virus bacteriofag numit Phi-X174, când s-a stabilit secvența completă de 5 375 de litere ale genomului său. Însă procedurile erau mai complicate și foloseau etichete radioactive pe subunitățile defecte care încheiau fiecare lanț.

Până la sfârșitul secolului nu s-a putut depăși nivelul de a citi mai mult de câteva sute de litere la fiecare tură. Astfel, ADN-ul trebuia tăiat, cu ajutorul enzimelor de restricție, în segmente suprapuse și codul era apoi pus cap la cap potrivit suprapunerile.

„Metoda noastră era primitivă, dar a reprezentat un mare pas înainte”, a recunoscut Sanger în 2000. Dublu laureat al Premiului Nobel, el merita să fie cel mai celebru om de știință din țara sa natală, un Pasteur englez probabil, însă modestia sa înăscută a lăsat muritori mai neînsemnați să concureze pentru faimă. Doar anunțul făcut de Casa Albă și de Downing Street nr. 10 (Reședința Prim-ministrului britanic), referitor la faptul că genomul uman a fost aproape complet decodificat, a determinat o scurtă apariție a sa în mass-media. El a spus atunci: „Nu mi-am închipuit niciodată că se va realiza atât de rapid”.

● Avertisment de sănătate intelectuală

Viața nu va mai arăta niciodată la fel. Pentru biologi, tehnicile de citire a genelor sunt echivalente cu invenția telescopului din astronomie de acum 400 de ani, iar

importanța lor generală nu este nicidecum exagerată. Totuși, odată cu ele apare riscul căderii în greșeala astronomilor din epoca post-galileană, care credeau că tot ce le mai rămânea de făcut era să descopere noi obiecte pe cer și să le treacă pe hartă.

Identificarea și citirea genelor individuale reprezintă doar începutul unui proces de investigare care trebuie să continue cu identificarea rolului lor exact în viața celulei vii și a organismului ca întreg. A identifica o genă implicată în activitatea cerebrală, de exemplu, nu înseamnă nicidecum a explica ce face acea genă și nici, cu atât mai mult, a explica dezvoltarea și funcționarea creierului. Deși banal, acest lucru trebuie subliniat deoarece disputa înversunată „natură versus educație” – pe tema importanței eredității și a mediului în dezvoltarea ființei adulte – s-a desfășurat până nu demult.

Geneticianul britanic J.B.S. Haldane observa, în 1938, că a începe o dispută ideologică pe tema naturii și a educației era la fel de inutil cu a încerca să decizi care dintre dimensiunile unui teren era mai importantă pentru a-i calcula aria, lungimea sau lățimea? De asemenea, el a comparat înzestrarea genetică a vitelor – rasa Highland – din zonele mlăștinoase ale Scoției cu cea a vitelor binecunoscute în Anglia – rasa Jersey. „Nu putem spune că vaca Jersey produce mai mult lapte” scria el. „Putem spune doar că produce mai mult lapte într-un mediu favorabil.”

Totuși, oamenii de știință au continuat, de-a lungul întregului secol al 20-lea, controversa asupra supremației genelor sau a educației, în special referitor la oameni. Pe scurt, frontul de luptă a separat biologia de științele sociale și comportamentale și orientarea politică de dreapta de cea de stânga. Avântul tehnologiei genetice din anii 1990 părea să încline balanța, în lupta natură-educație, în favoarea naturii astfel încât era necesar un avertisment de sănătate intelectuală.

„Mi se pare surprinzător faptul că acum zece ani un genetician trebuia să apere ideea că nu numai mediul, ci și genele modelează comportamentul uman”, comenta Svante Pääbo de la Institutul Max Planck pentru Antropologie Evolutivă din Leipzig, în 2001. „Astăzi suntem forțați să subliniem faptul că mediul are o mare influență asupra bolilor, comportamentului și asupra trăsăturilor personalității! Este o iluzie să credem că genomica singură ne va arăta vreodată ce înseamnă să fii uman. Pentru a ne îndrepta către acest scop înalt este necesară o abordare care să includă științele cognitive, primatologia, științele sociale și științele umaniste.”

- *Pentru viziunea telescopică a vieții, prin citirea genelor, vezi GENOMURI. Pentru cazuri particulare de genomuri, vezi GENOMUL UMAN, ARABIDOPSIS și CEREALELE. Interpretări moleculare ale rolului genelor în dezvoltare și evoluție sunt ilustrate în EMBRIONII, MONȘTRII OPTIMIȘTI, EVOLUȚIA și EVOLUȚIA MOLECULELOR. Genetica explică preistoria umanității în ORIGINEA UMANĂ, GENE PREISTORICE și VORBIREA. Pentru alte activități ale genelor, vezi CICLUL CELULEI, MOARTEA CELULEI, CEASURILE BIOLOGICE, ÎNFLORIREA și MEMORIA. Pentru aspecte*

ecologice, vezi EVOLUȚIA ECOLOGICĂ. Ingineria genetică constituie subiectul capitolului CULTURILE TRANSGENICE, iar identificarea personală este subiectul capitolului AMPRENTA ADN. Pentru proteine create cu ajutorul instrucțiunilor genetice, vezi FORMAREA PROTEINELOR și PROTEOMELE.

GENE PREISTORICE

Cum pot fi deosebiți negustorii de coloniști

METEOROLOGIA ȘI GENETICA și-au unit forțele pentru a clarifica o dispută referitoare la originea polinezienilor care au populat, în ultimii 2 000 ani, insulele din largul Pacificului, asemenea unor călători spațiali curajoși în căutare de noi planete ce pot fi locuite. În 1947, un etnolog și explorator norvegian, Thor Heyerdahl, a răspândit ideea că polinezienii proveneau din America de Sud.

El, împreună cu un mic echipaj, a pornit pe *Kon-Tiki*, o plută din lemn de balsa construită după modelul străvechi, într-o călătorie spre apus, din Peru până în Insula Raroia, pentru a demonstra că ipoteza sa este plauzibilă. Aventura sa, istorisită într-o carte și într-un film documentar, a încântat publicul. Însă i-a supărat pe arheologii, pe antropologii și pe lingviștii care, timp de mulți ani, colecționaseră dovezi că polinezienii s-au răspândit spre est pornind din Noua Guinee. Cunoscuți sub denumirea de poporul Lapita, aceștia și-au luat ca tovarăși de navă animale domestice – găini și porci – necunoscute în America acelor timpuri.

Știința este plină de povestiri despre nonconformiști care au luptat împotriva experților și au câștigat, însă Heyerdahl nu s-a numărat printre ei. Cel mai puternic argument în favoarea sa a fost că pluta *Kon-Tiki* a urmat drumul mai simplu, din punct de vedere al navigației. Vânturile alizee care suflau dinspre est și un curent oceanic îndreptat spre vest au dus cu sine pluta. Cum ar fi putut un simplu vas, făcut cu unelte din epoca de piatră, să navigheze în celălalt sens? De fapt, James Cook, un explorator din secolul al 17-lea, a aflat acest secret de la cârmaciul unei canoe, polinezianul Tupa'ia din Tahiti. Trebuia doar să aștepti un vânt care sufla chiar și numai puțin dinspre vest, specific perioadei noiembrie-ianuarie.

Acest lucru a devenit mai clar când meteorologii secolului al 20-lea s-au familiarizat cu fenomenul El Niño. Schimbările periodice ale climei din zona oceanului Pacific sunt asociate cu încălzirea apelor oceanice ecuatoriale și cu perturbarea

vânturilor alizee. În aceste condiții, o canoe destul de bună (nu o plută din lemn de balsa) ar putea cu siguranță să înainteze de la vest la est. Alți etnologi, de această dată de la Universitatea din Hawaii, au demonstrat acest lucru construind, în 1986, o replică a unei canoe polineziene și navigând spre est, din Samoa până în Tahiti.

Între timp, problema originii a fost rezolvată, spre satisfacția unora, comparând grupele de sânge ale polinezienilor cu cele ale altor populații de pe glob. Prin cea mai simplă interpretare, comparațiile au indicat o origine asiatică. Câteva dileme genetice au rămas nerezolvate, acestea fiind favorabile ipotezei lui Heyerdahl.

În 1990, un genetician de la Oxford, Bryan Sykes, a devenit interesat de problema originii polinezienilor în timpul unei escale ocazionale în insulele Cook. El a cerut de la un spital local niște mostre de sânge. Întors în laboratorul său de la Oxford, el a folosit metode noi pentru a găsi și citi gene moștenite doar pe linie maternă. O reîntoarcere în zona Pacificului s-a dovedit necesară, însă după aceea Sykes a anunțat descoperirea unei dovezi genetice zdrobitoare că principalul val de navigatori Lapita s-a răspândit înspre est. El a descoperit la un individ o descendență îndepărtată din locuitorii din Noua Guinee care porniseră în călătorie.

● Migrațiile umane

Studiile genetice ale preistoriei umane s-au prefigurat în timpul Primului Război Mondial, când frații polonezi Ludwik și Hann Hirsfeld au observat că proporțiile de sânge din diferite grupe (A, B, AB sau O) necesare pentru tratarea soldaților răniți depindeau de locul de proveniență. În 1964, cunoscând mai multe despre grupele sanguine și distribuția lor în întreaga lume, Luca Cavalli-Sforza și Anthony Edwards de la Pavia au construit primul arbore genealogic al speciei umane, folosindu-se de statistica frecvențelor relative ale grupelor sanguine.

Demersul nu era lipsit de echivoc, însă confuziile s-au diminuat pe măsură ce Cavalli-Sforza a continuat lucrul în Statele Unite, la Stanford, folosind mult mai multe mostre de sânge și noua comoară genetică – genele HLA (complexul major de histocompatibilitate). Împreună cu Alberto Piazza de la Torino, el a dezvoltat tehnici mult mai sigure pentru a construi arbori genealogici, folosind statistici genetice din diferite regiuni. Analiza are la bază teoria derivei genetice aleatorii.

Dacă vom lua în considerare o populație care are variante diferite de gene (de exemplu, pentru grupele sanguine ale sistemului ABO), proporțiile diferitelor variante vor varia în timp, în mod aleatoriu. Când populația se subdivizează în grupuri disparate care nu se mai încrucișează datorită separării geografice, odată cu trecerea timpului frecvențele genelor vor diferi la fiecare grup în parte.

Diferențele cele mai mari apar dacă populația dispartă este inițial foarte mică. Atunci, unele variante de gene sunt atât de rare încât vor dispărea. Nativii americani, de exemplu, par să fie descendenți ai unor mici grupuri fondatoare ce au traversat strâmtoarea Bering dinspre Asia la sfârșitul ultimei ere glaciare, lăsând în

urmă grupa de sânge B. Aceasta lipsește aproape complet la nativii americani. Mutațiile noi supraviețuiesc atât de rar într-o populație încât este puțin probabil să fi jucat un rol important în diferențele genetice dintre grupurile umane.

Din analiza lui Cavalli-Sforza rezulta, în principal, că a existat o singură populație originală din care au descins toate ființele umane care trăiesc astăzi. Această concluzie se opunea ideii rasiste, pe atunci încă predominante, conform căreia grupările regionale principale ale umanității au evoluat independent din strămoșul primitiv *Homo erectus*.

Geografia genetică a spulberat concepțiile greșite care se bazau pe culoarea pielii și pe alte trăsături. Culoarea pielii și formele craniilor i-au determinat pe antropologi să-i pună în aceeași categorie pe africani și pe nativii australieni, deși, din punct de vedere genetic, ei diferă cel mai mult dintre toate ființele umane de astăzi. O așa-zisă înrudire a europenilor cu chinezii și cu nativii americani a fost, de asemenea, contrazisă de genetică.

Explicația discrepanțelor dintre genetică și antropologia fizică este că tocmai trăsăturile superficiale au cele mai mari șanse să se adapteze cel mai bine climei locale. Cel mai specific, pielea de culoare închisă oferă protecție împotriva cancerului de piele cauzat de radiațiile solare ultraviolete. La latitudini înalte, oamenii cu pielea de culoare închisă pot fi mai vulnerabili la rahitism, un defect al oaselor datorat lipsei de vitamina D, care este produsă de ultravioletele ce penetrează pielea corpului.

„Aici, la Stanford, întâlnim foarte mulți oameni cu diferite origini rasiale”, a remarcat Cavalli-Sforza în 1973. „Este interesant că aceste diferențe pe care le vedem sunt, literalmente, superficiale.”

În 1988, Cavalli-Sforza și Piazza, împreună cu Paolo Menozzi de la Parma, au construit un arbore evolutiv pentru 42 de populații băștinașe din întreaga lume, bazat pe analiza variantelor a 120 de gene. Acesta a fost transpus în itinerarii de migrație, ce aveau punctul de plecare în Africa, în urmă cu aproximativ 100 000 ani. O primă destinație a fost China și Asia de Sud-Est. Unii s-au stabilit aici și alții s-au îndreptat spre Australia și spre Noua Guinee. Ceilalți au continuat călătoria spre nord, iar aici s-au despărțit din nou. Cei care au virat spre est au populat Japonia și nord-estul Asiei – de asemenea și cele două Americi, de unde cei mai tenaci călători au mers mai departe, încheind traseul cu punctul de plecare în Africa, în Țara de Foc, sau în Groenlanda.

Între timp, cei care s-au îndreptat spre nord-vest au devenit europeni și așa-zisii caucazieni, dintre care unii s-au reîntors în nordul Africii, ori s-au îndepărtat către Iran și India. Această poveste a înconjurului lumii, imprimată în gene, s-a potrivit destul de bine cu dovezile arheologice și, de asemenea, cu lingvistica, existând aici o corespondență clară între clusterelor genetice și familiile lingvistice.

Piazza și Menozzi au orientat cercetările genetice către găsirea unor legături între gene, climă și boală. Colegii lor remarcaseră deja legătura dintre genele HLA

(ale sistemului de histocompatibilitate) și incidența anumitor boli. De exemplu, combinația de gene HLA A3-B7-DR2 predispune purtătorul genelor la scleroza multiplă. Piazza și Menozzi au descoperit că, la nivel global, A3 este răspândită în zonele cu climă rece, pe când B7 este rar întâlnită în zonele ploioase și umede.

„Răspândirea relativ extinsă a sclerozei multiple în nordul Europei poate fi astfel interpretată ca prețul pe care l-a avut adaptarea la o climă mai rece de-a lungul evoluției umane”, a afirmat Piazza. „Astfel începem să înțelegem că susceptibilitatea față de boală în cadrul fiecărei populații a fost influențată de mediile în care au trăit strămoșii ei.”

● Bunica Eva din Africa

Rezultatele impresionante ale acestei întregi geografii genetice ascundeau o capcană tehnică, ba mai mult, filozofică. Ce se înțelegea prin „aborigen”? E de la sine înțeles că probele de sânge au fost adunate de la oameni care pot fi considerați localnici – și nu, de exemplu, de la albi din Marea Sudului sau de la oamenii de culoare, vorbitori ai limbii urdu, din Europa. Această metodă a presupus tacit existența raselor. Cu toate că au fost numite grupuri etnice sau populații regionale și s-a accentuat faptul că asemănările dintre toate ființele umane au o pondere mai mare decât variațiile lor minore, metodologiei i-a rămas totuși încorporată problema raselor.

De cealaltă parte a Golfului San Francisco față de Stanford, unde lucra Cavalli-Sforza, Allan Wilson și studenții săi de la UC Berkeley au dezvoltat o metodă mai exactă și mai obiectivă pentru a schița preistoria umană cu ajutorul geneticii. Ei au folosit doar gene maternă, ce au denumirea tehnică de ADN mitocondrial. Micile centrale energetice ovale din interiorul celulelor noastre vii, mitocondriile, au genele lor independente, care sunt moștenite în mod exclusiv de la mamă.

Spre deosebire de genele obișnuite, care se află în nucleul celular și provin de la ambii părinți în multiple combinații, genele maternă sunt identice la frați și surori. Totuși aceste gene acumulează mutații de-a lungul generațiilor – chiar mult mai repede decât genele nucleare. Unele mutații dispar din lipsa descendenților de sex feminin, altele se transmit de-a lungul generațiilor. Aici nu este vorba despre statistici vagi, ca în cazul derivatei genetice ce modifică frecvențele grupelor de sânge și ale genelor HLA responsabile cu tipurile de țesut, din cazul populațiilor. Acum avem de-a face cu indivizi și cu linii de descendență foarte precise.

Genele maternă sunt ca rețeta unei budinci preferate copiată de fetele fiecărei generații, din timpuri imemorabile. Ingredientele rămân aceleași, dar din când în când cineva face o greșală de scriere sau o mângălitură, și toate urmașele sale vor copia fidel versiunea modificată – cu greșeli, cu mângălituri și tot restul. Dacă ai compara rețeta de budincă a mamei tale cu cea a mamei prietenei tale, ți-ai putea da seama imediat cât de apropiate sau îndepărtate sunteți ca grad de rude-nie, în funcție de cât de asemănătoare sunt rețetele. Înrudirea pe linie paternă nu

contează aici, astfel încât copiii a doi frați ar putea părea, genetic vorbind, străini în urma acestui test.

În 1987, Wilson și colaboratorii lui au examinat genele materne de la 134 de persoane din întreaga lume. Ei au descoperit similarități remarcabile, precum și diferențe în toate rețetele. Toate aceste persoane descindeau din același strămoș feminin – o persoană reală – care a trăit acum aproximativ 150 000 de ani. Aceasta a fost imediat poreclită Eva.

A trăit probabil în Africa, deoarece cele mai vechi mutații au fost descoperite la persoane care locuiesc astăzi pe acest continent. Acest fapt susține în mod categoric afirmația lui Cavalli-Sforza asupra unei origini comune a tuturor, incluzând specificarea Africii drept zonă de origine. Însă, în alte privințe, genele materne au pus sub semnul întrebării tabloul lui Cavalli-Sforza, într-un mod uluitor.

Geneticienii de la Berkeley au realizat un arbore genealogic al celor 134 de persoane. I-au grupat ținând seama de strămoșii comuni pornind de la Eva. Deși doi oameni din aceeași regiune aveau strămoși comuni relativ recent mult mai des decât doi oameni din regiuni diferite, excepțiile au fost uimitoare. O ramură recentă a familiei umane, de exemplu, s-a dovedit a grupa persoane din Europa, Asia și Noua Guinee.

„Această schemă le-a pus bețe în roate amatorilor de arbori genealogici ai populației”, comenta Bryan Sykes. „Se pare că indivizi înrudiți genetic se ivesc peste tot, în cele mai nepotrivite populații”.

● Cine sunt europenii?

Să ne amintim că Sykes de la Oxford a fost cel care, cu ajutorul genelor materne, a confirmat autenticitatea polinezienilor Lapita, descoperind, de asemenea, un străin printre ei. Folosind o variantă a metodei lui Wilson, Sykes s-a focalizat asupra unei regiuni a ADN-ului mitocondrial care avea semnificație funcțională minoră și deci tolera o rată mare a mutațiilor. Aceasta corespundea, de fapt, marginii foilor cu rețeta antică, unde fiicele puteau să mângâiească în voie.

Rata mutațiilor permitea geneticienilor să studieze relațiile materne mult mai în detaliu și pe perioade mai scurte de timp. În mod special, le permitea să investigheze o problemă care i-a separat deseori pe specialiștii în preistorie în tabere aproape ideologice. Când o tehnologie nouă apare în registrul arheologic al unei anumite zone, au adus-o invadatorii atunci când au venit și s-au stabilit acolo sau aceasta s-a răspândit la populația preexistentă prin intermediul negustorilor?

Corăbiile vikinge și telefoanele mobile ilustrează variante opuse. Spre sfârșitul primului mileniu d.Hr., își fac apariția vase lungi tipice în registrele arheologice și istorice ale multor coaste europene, iar vikingii de la bordul lor cu siguranță au colonizat multe dintre locurile pe care le-au vizitat. Dar când viitorii arheologi

vor găsi un număr mare de telefoane mobile de proveniență scandinavă peste tot în lume, la sfârșitul celui de-al doilea mileniu d.Hr., se vor înșela dacă vor presupune o a doua dezlănțuire nordică. Viitorii geneticieni ar putea căuta răspunsul la întrebarea mai ingenioasă dacă nu cumva printre agenții de vânzări de la firmele Nokia și Ericsson se aflau și niște Casanova remarcabili.

Niște arheologi lipsiți de prejudecăți s-ar aștepta ca unele culturi să se extindă prin migrații ale clanurilor și armatelor iar altele, prin comerț și reproducere. Fuziunea dintre arheologie și genetică poate ajuta la aflarea adevărului, în fiecare caz în parte. Astfel, în populația Marii Britanii, de exemplu, genele vikingie au o pondere cu adevărat remarcabilă. Pe de altă parte, apariția agriculturii în Insulele Britanice se aseamănă mai degrabă unei treceri din mână în mână a semințelor și a animalelor, ca în cazul telefoanelor mobile.

Nu așa au văzut geneticienii lucrurile la început. Agricultura europeană este originară din sud-vestul Asiei, și dovezile arheologice arată cum a avansat către nord-vest de-a lungul Europei cu o viteză medie de un kilometru pe an. Agricultura a apărut mai întâi în Balcani acum aproximativ 8 000 ani, când dovezile din peștera Franchthi din sudul Greciei arată că a avut loc o trecere bruscă de la o dietă bazată pe pește la una bazată pe grâu, orz, carne de oaie și de capră.

Întorcându-ne în 1978, echipa italiană de la Stanford condusă de Cavalli-Sforza a anunțat descoperirea unor dovezi genetice ce evidențiază că agricultorii din sud-vestul Asiei neolitice (Epoca Nouă a Pietrei) au migrat cu recoltele și cu vitele lor de-a lungul Europei. Deoarece agricultura poate hrăni mai mulți oameni decât vânătoarea, fermierii au întrecut numeric, după cum s-ar părea, triburile indigene din paleolitic (Epoca Veche a Pietrei) și au impus atât propriile gene cât și cultivarea plantelor în regiunile rurale. Conform acestei ipoteze, genele sud-vest asiatice s-au atenuat progresiv înspre hotarele vestice ale Europei, datorită încrucișării cu vânătorii.

Când Sykes a aplicat metoda îmbunătățită a genelor materne pe oameni ce trăiesc în Europa, a descoperit că echipa lui Cavalli-Sforza exagerase în privința moștenirii genetice asiatice. Printr-o lovitură de maestru, Sykes a extras ADN din dintele unui vânător, cu o vechime de 12 000 ani, care fusese găsit în 1986, la Cheddar Gorge în Anglia. Acest om trăise cu cel puțin 7 000 ani mai înainte ca agricultura să fi pătruns în această regiune. Iar genele sale materne corespundeau cu cele mai răspândite variante găsite la europenii de azi. Din perspectiva inversă, cei mai mulți europeni ar putea pretinde că descind direct din vânătorii europeni din paleolitic.

În 1996, echipa lui Sykes a publicat o analiză a strămoșilor europenilor din paleolitic și din neolitic, ce avea la bază gene materne de la 821 de persoane din Europa și din Orientul Mijlociu. Au fost identificate cinci linii de descendență indigene ce proveneau din Europa paleolitică (Epoca Veche a Pietrei), și alte două linii de descendență ce pătrunseseră dinspre est. Revenind la bunica Eva din

Africa a lui Wilson, Sykes le-a numit pe ultimele strămoașe comune din fiecare grup de gene maternelne „cele șapte fiice ale Evei”. Din punct de vedere numeric, fondul de gene european a estimat raportul de 80/20 dintre indigenii din Europa paleolitică și nou-veniții din estul neolitic.

● Ce putem spune despre strămoși?

Genele paterne au apărut în istoria științei la câțiva ani după genele maternelne. Geneticienii au descoperit cum să identifice modificările din ADN-ul transmis doar pe cale paternă, în cromozomii Y, care modifică tendința inerentă a ovulului fertilizat de a se dezvolta în forma unei fete, determinând astfel apariția unui băiețel. Ornella Semino de la Pavia și Giuseppe Passarino de la Stanford, împreună cu o echipă de cercetători din Rusia, Ucraina, Polonia, Croația, Grecia, Suedia, precum și din Italia și S.U.A., au examinat cromozomii Y ai unui număr de 1 007 bărbați europeni. Aproape toți făceau parte din zece linii de descendență, iar mulți păreau să descindă din vânătorii care se răspândiseră pretutindeni în Europa la sfârșitul ultimei ere glaciare.

În privința raportului de 80/20 dintre populația indigenă din paleolitic și nou-veniții din neolitic, dedus cu ajutorul genelor maternelne, echipa genelor paterne a menționat: „Datele noastre confirmă această observație”. Unul dintre coautori era chiar Cavalli-Sforza, astfel încât concluzia studiului a încheiat elegant apriga dispută, dintre oamenii de știință care foloseau genele grupelor sanguine și, respectiv, cei care foloseau genele maternelne, referitoare la evenimentele din Europa perioadei neolitice. Meciul decisiv dintre Stanford și Oxford a fost câștigat de Oxford, deși Cavalli-Sforza a salvat de la cromozomii Y dovada faptului că, în sudul Europei, agricultorii s-au îndreptat spre vest, posibil pe mare.

Echipa genelor paterne a început să schițeze paleoliticul superior. În această perioadă, în Europa, au apărut primii oameni moderni alături de neanderthalieni, care probabil nu erau strămoșii lor. O variantă a cromozomului Y numită M173 și-a făcut apariția, după cum s-ar părea, acum aproximativ 40 000 de ani în Asia Centrală, într-o populație din care descind, de asemenea, unii siberieni și nativi americani contemporani.

Jumătate din europenii din ziua de azi descind din linia M173. Semino și colegii ei au identificat-o cu aurignacienii, primii oameni complet moderni din Europa, a căror cultură, incluzând unelte și picturi splendid lucrate, se face remarcată cu 35 000 ani în urmă. Cei mai mulți europeni din jumătatea rămasă descind dintr-o altă variantă a cromozomului Y, numită M170, care se pare că datează de peste 20 000 de ani, având originea în sud-vestul Asiei. Debutul acestei linii în Europa ar putea corespunde cu gravettienii, faimoși pentru ceramica timpurie – figurinele lor obeze din lut ars reprezentând-o pe „Venus”.

Introducerea genelor paterne în studiile preistorice a facilitat analiza efectelor diferențelor de gen în comportamentul sexual asupra liniei de descendență. De

exemplu, haremurile regale și violurile în masă ale armatelor cuceritoare erau des întâlnite în istoria scrisă, deci de ce să nu fi fost și în cea nescrisă? În general, promiscuitatea masculină poate să reducă diferențele genetice dintre regiuni.

În 2001, geneticienii de la Oxford în colaborare cu compania Decode Genetics din Reykjavik au folosit atât gene materne, cât și gene paterne pentru a determina proporțiile sexelor în perioada colonizării Islandei de către vikingi acum aproximativ 1 000 de ani. Aproape 80% dintre primii coloniști bărbați sosiți pe insula din Atlantic erau originari din Scandinavia, dar 60% dintre femei veniseră din Britania. Este evident că vasele lungi ale vikingilor au făcut popas în drumul lor spre Islanda pentru a-și alege soții de neam celtic din nordul Scoției.

● Oase readuse la viață

La începutul secolului al 21-lea, o eminentă cenușie a arheologiei, Colin Renfrew de la Cambridge, declara că „Aplicarea geneticii moleculare la problemele preistoriei umane și, pornind de aici, la problemele de importanță majoră ale arheologiei preistorice, este o inițiativă atât de fructuoasă încât o nouă disciplină – arheogenetica – a luat naștere de curând”. El a sesizat necesitatea unei înțelegeri mai profunde a interacțiunilor dintre nou-veniți și o populație indigenă și, inclusiv, a „consecințelor genetice și demografice ale căsătoriilor între membrii aparținând celor două grupuri”.

Aceasta este o nouă știință, de la care se așteaptă mari realizări în viitor. Oasele din muzee vor prinde din nou viață, așa cum s-a petrecut în timpul realizării unui film documentar pentru televiziune, în 1997, despre activitatea lui Sykes și a grupului său de la Oxford. Un profesor din Cheddar, care locuia la doar un kilometru depărtare de situl arheologic din Cheddar Gorge, avea genele materne similare cu cele ale unui schelet, ce data de acum 9 000 ani, găsit în Cheddar Gorge.

- Pentru subiecte conexe, vezi **VORBIREA** și **LIMBAJELE**. Pentru perioadele timpurii și tranziția de la primate la om, vezi **ORIGINEA UMANĂ**. Pentru mai multe despre genetica islandezilor, vezi **GENOMUL UMAN**.

GENOMURI

Istoria vieții într-un cod chimic

D OAR DACĂ URMEZI UN CURS DE PREGĂTIRE INTENSIVĂ poți primi titlul de maestru bucătar de fugu în Japonia, dar merită efortul. Gurmanzii plătesc o avere pentru a curta moartea mâncând fugu sau peștele balon. Dacă veți consuma doar o bucătică din ficatul acestuia, în decurs de câteva minute este posibil să nu mai puteți respira din cauza otrăvii – tetrodotoxina – care blochează canalele de sodiu ale fibrelor nervoase. Aceasta este o modalitate binecunoscută de sinucidere, la care se referă și următorul haiku:

Nu o voi putea întâlni în noaptea asta.

Trebuie să renunț la ea,

Deci voi mânca fugu.

Torafugu, *Fugu rubripes*, este cel mai periculos și cel mai apreciat. Această specie a atras atenția biologilor din întreaga lume la începutul anilor 1990 din motive nonculinare. Sydney Brenner de la Laboratorul de Biologie Moleculară din Marea Britanie a stabilit că genomul peștelui – setul său complet de gene – este conținut într-o cantitate extraordinar de mică de material genetic ADN, acid dezoxiribonucleic.

Genomul peștelui fugu are doar o optime din dimensiunea genomului uman, dar, cu toate acestea, conține un set de gene asemănător. Ceea ce îi lipsesc sunt secvențele repetitive și ADN-ul inactiv (junk ADN) care subzistă în genomul majorității animalelor vertebrate. Biologii specialiști în fiziologia plantelor descoperiseră deja o plantă cu flori reprezentativă având un genom foarte compact, o buruiănă numită *Arabidopsis thaliana*. Pentru Brenner și echipa sa, peștele fugu părea un organism potrivit pentru a descifra structura genetică esențială a tuturor vertebratelor.

Un membru al echipei era Byrappa Venkatesh din Singapore; iar el a văzut în peștele fugu o ocazie de a-și plasa tânăra țară pe harta lumii în domeniul cercetării biologice. Cu toate că marile comunități științifice se pregăteau să folosească resurse uriașe și batalioane întregi de specialiști pentru a decodifica genomul uman, Singapore putea încă să joace un rol important abordând genomul peștelui fugu. Nefiind nici pe departe un dezavantaj, dimensiunea redusă a genomului său promitea beneficii considerabile, oferind, în primul rând, o cale mai rapidă spre înțelegerea geneticii altor animale și chiar a omului.

„Putem să citim acum limbajul genomului uman și al altor genomuri complexe”, a explicat Venkatesh, „dar înțelegem prea puțin gramatica ce stă la baza acestui limbaj. Dimensiunea redusă a genomului de fugu ne va ajuta să înțelegem gramatica de bază care guvernează reglarea și funcționarea genelor vertebratelor”.

Drept urmare, Venkatesh de la Institutul de Biologie Celulară și Moleculară din Singapore a devenit liderul unui consorțiu fugu de laboratoare din Marea Britanie și SUA, înființat în 2000. Folosind tehnica „shotgun”, care împarte întregul genom în milioane de fragmente mici, consorțiul a obținut o schiță a genomului de fugu în mai puțin de un an. Această secvențiere rapidă a genomului de fugu caracteriza noul val în cercetarea genomurilor.

Au trecut 450 de milioane de ani de când omul și fugu au avut un ultim strămoș comun, totuși mai mult de 75% din genele acestui pește se regăsesc în genomul uman. Aceasta este o dovadă importantă a moștenirii evolutive comune. Asemănările și deosebirile generale dintre repertoriile genelor active ale diferitelor specii corespund aproximativ cu ceea ce te-ai putea aștepta de la cursul evoluției. Ciupercile sau regnul fungi, plantele și animalele au multe gene în comun, dar corespondențele sunt cu atât mai mari cu cât speciile sunt mai înrudite. Dacă sunt citite și interpretate în mod corect, genomurile însumează istoria genetică a tuturor viețuitoarelor Pământului.

● Catalogul speciilor

În doar câțiva ani, prin combinarea cititoarelor de gene automate cu calculatoarele, genomica a devenit, dintr-o inițiativă intimidantă, o rutină. Mult mai important, s-a transformat dintr-o tehnologie de laborator într-o nouă ramură a științei. Deși interesul lumii medicale și al mass-media s-a fixat asupra genomului uman, genomurile altor specii, a căror citire s-a realizat într-un număr din ce în ce mai mare, au format baza genomicii comparative. Până la sfârșitul anilor 1990, fuseseră citite genomurile unor virusuri și bacterii – ceea ce a reprezentat un prim pas important, fără însă a deschide noi orizonturi așa cum vor face genomurile organismelor superioare.

Drojdia lui Baker, *Saccharomyces cerevisiae*, este o formă de viață mult mai avansată decât bacteriile, deși nu este decât un microb. Ca și la animale sau la plante, genele sunt distribuite între cromozomii dinăuntrul unui nucleu celular. În 1997, în urma eforturilor extrem de descentralizate depuse în 100 de laboratoare din Europa, Statele Unite, Canada și Japonia, a fost descoperit genomul complet al drojdiei, care cuprinde 5 800 de gene. Cercetătorii de la Institutul pentru Secvențierea Proteinelor din Martinsried, lângă München, au pus secvențele în ordine, le-au verificat și le-au analizat.

Drojdia a adus prima dovadă a faptului că un genom poate să clarifice istoria îndelungată a evoluției speciilor actuale. În particular, specialiștii germani au identificat zeci de cazuri în care strămoși ai drojdiei moderne au duplicat

anumite gene. Aceștia au furnizat gene de rezervă care ar putea să dezvolte funcții noi fără ca, între timp, să afecteze iremediabil organismul purtător, lipsindu-l de funcțiile existente.

Primele animale al căror genom a fost citit erau două mici creaturi deja studiate în laboratoarele de genetică. În 1998, colaborarea dintre Universitatea Washington și Institutul Sanger din Marea Britanie a dus la citirea genomului viermelui inelat sau nematod *Caenorhabditis elegans* care avea 19 100 de gene. În 2000, Craig Venter de la Celera Genomics din Maryland a prezentat tehnica sa de citire rapidă a întregului genom pe musculița de oțet *Drosophila melanogaster* cu cele 13 600 de gene ale sale. Au urmat genomul uman (aproximativ 32 000 de gene), al șoarecelui (de asemenea aproximativ 32 000 de gene) și al peștelui fugu (31 000 de gene) în 2001.

Pe măsură ce lista genomurilor ce au fost secvențiate a crescut, aveau loc dezbatări aprinse despre porțiunile din materialul genetic, ADN, care nu conțin gene active. La multe specii, inclusiv la oameni, aceste zone pustii pot reprezenta 90% sau mai mult din ADN. Mare parte din conținutul lor este materialul care s-a separat de secvențele genetice ordonate și a fost copiat și recopiat de mai multe ori. O parte este inserat de la coadă la cap, producând echivalentul ADN al palindromurilor de forma „Madam I’m Adam”, dar mult mai lungi.

Un rezident notabil al genomului uman numit elementul lung de spațiere sau secvența LINEs supraviețuiește cu succes, probabil ca un simplu parazit. Pe de altă parte, un număr considerabil de secvențe scurte, denumite elemente Alu, ar putea reprezenta un pasager clandestin care a fost pus la lucru. Grupați pe lângă genele reale, aceștia ar putea avea un rol în a determina intensitatea reacției genelor la semnalele care solicită declanșarea unei acțiuni. ADN-ul necodificator rămas în genomul de dimensiuni reduse al peștelui fugu ar fi trebuit să clarifice aceste funcții de control, fără confuziile provocate de materialul cu adevărat redundant.

● De ce sunt plantele diferite

„Cum e posibil să avem doar cu puțin mai multe gene decât o buruiană?” Aceasta a fost exclamația generală în mass-media atunci când a fost descifrat primul genom al unei plante, în anul 2000. Neînsemnata și micuța plantă *Arabidopsis thaliana* cu 25 500 de gene face genomul uman să pară, prin comparație, surprinzător de sărăcăcios, cu cele 32 000 de gene ale sale. O posibilă explicație este că o singură genă poate fi transcrisă în mai multe moduri, pentru a codifica proteine diferite, iar animalele folosesc mult mai mult decât plantele această capacitate de adaptare. O altă explicație este că, fiind imobile, plantele au nevoie de o mai mare varietate de mijloace de apărare decât animalele, care pot să fugă de pericol.

Comparativ cu genomurile altor organisme, *arabidopsis* a creat imaginea deconcertantă a unei creaturi complexe cu multe celule, asemănătoare unui animal, dar

unul care a ales să stea pe loc și să facă băi de soare, preparându-și astfel hrana. Așa cum se afirmă în primul raport al Inițiativei Genomului de Arabidopsis asupra genomului complet: „Comparația noastră dintre genomul bacterian, genomul fungilor, genomul animal și genomul de arabidopsis începe să definească bazele genetice ale acestor diferențe dintre plante și alte forme de viață.”

Arabidopsisul are gene care codifică 150 de familii de proteine ce nu sunt prezente la animale, dar îi lipsesc altele cu care sunt înzestrate animalele. Procesele de bază dinăuntrul celulelor par să fie identice la animale și la plante, ceea ce reflectă originea lor comună. Povestea clasică a evoluției istorisește despre bacterii mai mici ce erau găzduite de bacterii mai mari pentru a produce celulele vii de un tip avansat ce se găsesc la ciuperci, animale și plante. Toate conțin organite de prelucrare a oxigenului numite mitocondrii, care descind dintr-o bacterie. Plantele conțin, de asemenea, în unele din celulele lor, unități verzi care captează lumina. Acestea, numite cloroplaste, sunt descendente din strămoșii unei bacterii actuale numită alga verde-albastră.

Deși mitocondriile și cloroplastele au o independență ereditară destul de mare, unele dintre genele lor se regăsesc în materialul genetic găzduit de nucleul fiecărei celule. Acesta este un caz special, de natură internă, al transferului orizontal de gene, reprezentând o inginerie genetică naturală care introduce gene străine în cadrul speciei, în afara procesului normal al transmiterii „pe verticală” de la părinți la urmași. La arabidopsis nu mai puțin de 800 de gene nucleare par a proveni de la cloroplastele chiriase. Una dintre consecințe este că genele implicate în construirea indispensabilului aparat fotosintetizator sunt distribuite într-un mod straniu și complicat între nucleu și cloroplast.

Pe de altă parte, plantele au adaptat unele dintre genele însușite de la cloroplaste într-un aparat senzorial necesar pentru a reacționa la mediu și pentru controlul înfloririi. Filozofii Inițiativei Genomului de Arabidopsis au remarcat că „această infuzie de gene demonstrează că plantele au un patrimoniu de gene ancestrale mai bogat decât al animalelor și, de asemenea, au procese de dezvoltare unice care derivă din transferul orizontal de gene.”

● Cum protejează genomurile „ silențierea ARN ”

Diferențele uriașe dintre mărimile genomurilor au ridicat o problemă fundamentală pentru biologi. Genomurile mari cu 90% sau mai mult de 90% ADN nefuncțional prezintă o sursă potențială de dezordine care ar putea ucide organismul. Este destul de șocant faptul că genele introduse de către virusuri în organismul uman reprezintă 8% din genomul uman, comparativ cu doar 2% reprezentând genele care codifică proteinele. Cum se apără genomul în fața acestor intruși?

La începutul anilor 1990, citirea genomurilor era abia la debut. Giuseppe Macino, un specialist în genetică moleculară de la Universitatea La Sapienza din Roma, realiza experimente pe ciuperca *Neurospora crassa*. Deși numită

mucegaiul roșu, aceasta are de fapt culoarea portocalie. Colaborând cu Nicoletta Romano, Macino a introdus în *Neurospora crassa* copii suplimentare ale genelor care determinau producerea carotenului, pigmentul care conferă culoarea portocalie. Cercetătorii se așteptau să observe o nuanță mai aprinsă. Dar într-o treime din cazuri, culoarea mucegaiul a devenit mult mai ștearsă. După o cultivare îndelungată, tulpinile albinoase au eliminat gradat genele introduse și și-au recăpătat culoarea.

Mucegaiul se împotriva în mod activ ingineriei genetice realizate de oamenii de știință. Acesta a eliberat un agent necunoscut care a reprimat genele introduse. În timpul procesului, acest agent a afectat în mod inevitabil și genele preexistente ale pigmentului, producând astfel tulpinile albinoase ale mucegaiului.

După ce a anunțat această descoperire în 1992, Macino și colaboratorii săi au examinat mecanismul de reprimare. În anii care au urmat, ei au stabilit că acesta nu urma calea obișnuită prin care Natura dezactiva genele, și anume atașându-le grupe metil. Mai degrabă, interferența cu acțiunea genelor părea să implice acțiunea acidului ribonucleic, ARN. Acesta este un material similar ADN-ului (acidul dezoxiribonucleic) care codifică înseși genele.

În timp ce la Roma continua cercetarea asupra mucegaiului, oamenii de știință din alte părți ale Europei și din Statele Unite studiau efecte similare descoperite în cazul plantelor și al animalelor. O experiență asemănătoare cu încercarea lui Macino de a crea o *Neurospora* mai portocalie a fost o tentativă anterioară de a introduce în petunie o genă care să dea petalelor ei o nuanță mai intensă de violet. Experimentatorii de la DNA Plant Technology din California au descoperit că uneori petalele se albeau ca urmare a reprimării tuturor producătorilor de pigmenți.

Cercetătorii de la Centrul John Innes din Marea Britanie și de la Universitatea Statului Oregon au introdus genele unor virusuri în planta de tutun, încercând să imunizeze planta împotriva virusurilor. Au reușit, dar într-un mod paradoxal. Cele mai bune rezultate au apărut atunci când genele nu dădeau niciun semn de activitate. În mod evident, funcționa un mecanism de reprimare care acționa atât asupra virusului, cât și asupra genelor nou introduse.

În 1998, Andrew Fire, de la un laborator al Institutului Carnegie din Baltimore a stabilit că agentul implicat într-un proces similar de control în cazul viermelui inelat *Caenorhabditis elegans* era ARN-ul dublu catenar. Era ceva inedit. Oamenii de știință erau obișnuiți cu ARN-ul monocatenar acționând ca mesager, transcriind cuvintele genelor și transportându-le la fabricile de proteine ale celulelor.

ARN-ul dublu catenar furnizează mici secvențe ale codului omoloage ARN-ului mesager nedorit, ceea ce permite unei enzime ce distruge ARN-ul să îl recunoască și să îl taie în bucăți. În secolul al 21-lea, această „silențiere post-transcripțională a genelor” sau „silențiere ARN” a devenit deviza pentru o nouă temă a biologilor și medicilor din întreaga lume. Ea promitea tehnici de importanță

majoră în cercetarea genetică, oferind o modalitate foarte precisă de inactivare a genelor pentru a le descoperi funcțiile. De asemenea, a mai sugerat metode noi de tratare a cancerului și a infecțiilor virale – cu toate că cele mai inteligente virusuri știu cum să treacă de barierele defensive.

Fenomenul de „silențiere” a genelor cu ajutorul ARN-ului dublu catenar apare la toate genomurile fungilor, plantelor și animalelor. El este echivalentul genomic al unui sistem imunitar care apără organismul de infecții. În afară de virusuri, ARN-ul trebuie să prevină efectele nefavorabile ale genelor preexistente care sar dintr-un loc în altul în interiorul genomului.

Prima dovadă clară a rolului de protecție al „silențierii ARN” a fost oferită în 1999 de către Ronald Plasterk de la Institutul Olandez de Cancer din Amsterdam. El a descoperit viermi inelați mutanți care pierduseră atât abilitatea de a produce ARN-ul necesar, cât și pe cea de a reprima ADN-ul necorespunzător. El a condus cercetarea intensivă a fenomenului „silențierii ARN” ca director al Laboratorului Hubrecht din Utrecht. Plasterk era de părere că „începem să disecăm un mecanism străvechi care protejează cea mai sensibilă parte a unei specii: codul său genetic”.

Rămâne încă de stabilit cum au reușit creaturile cu genomuri foarte compacte, cum ar fi peștele fugu și buruiana arabidopsis, să scape într-un mod masiv de ADN-ul redundant sau străin. Dintr-un anumit punct de vedere s-ar putea să fie mai rău așa. Derepresarea genelor „tăcute”, fie prin înlăturarea grupărilor metil, fie prin stoparea „silențierii ARN”, s-a dovedit a fi un mecanism important de transformare rapidă la ciuperci sau fungi, la plante și la animale, necunoscut anterior în biologia evolutivă. Astfel, este posibil ca peștele fugu și arabidopsisul să-și fi pierdut mult din potențialul evolutiv ca răspuns la mediul în continuă schimbare.

● Comparații între plantele de cultură

Primele schițe ale genomului orezului au apărut în 2002, ca urmare a rezultatelor obținute de chinezi și de elvețieni prin folosirea tehnicii lipsite de rafinament dar eficiente denumită tehnica „shotgun”. O versiune completă, cromozom cu cromozom, era așteptată din partea Proiectului Internațional de Secvențiere a Genomului de Orez condus de japonezi. „Iată o plantă pe cinste”, spuneau despre orez botaniștii și cultivatorii tradiționaliști. Aceasta s-a confirmat când au descoperit că 85% din genele arabidopsisului se regăseau la orez. Pe de altă parte, jumătate din genele orezului nu aveau corespondent la arabidopsis.

Nu numai genele individuale slujesc multor specii diferite. La sfârșitul anilor 1980, geneticienii din Statele Unite și Marea Britanie au stabilit că genomurile plantelor păstrează adeseori, pe parcursul mai multor milioane de ani, trăsături ale organizării lor interne. Acest fenomen are loc în pofida numeroaselor mecanisme evolutive: mutații ce produc multe modificări în fiecare genă, specii individuale care dobândesc sau pierd anumite gene și declanșatori chimici care activează sau dezactivează genele existente.

Cercetătorii au folosit porțiuni de ADN de la o specie pentru a căuta aceleași gene la alte specii. Studiind cromozomii, ei au fost surprinși de cât de des își făceau apariția grupuri identice de gene în aceeași ordine. Roșia versus cartoful, și diferiți cromozomi ai grâului, care are seturi multiple de cromozomi, au oferit primele hărți comparative.

După încă zece ani de investigații similare, în diferite laboratoare, Mike Gale și Katrien Devos de la Centrul John Innes din Marea Britanie au alcătuit un prim rezumat genomic al plantelor cu flori. Dacă le cercetăm atent, folosind hărți ale genomurilor, observăm, de exemplu, că asemănările dintre opt specii de cereale sunt mult mai evidente decât deosebiriile. Pe de altă parte, apar într-adevăr reorganizări majore care nu sunt corelate cronologic. De exemplu, secara a derivat din grâu acum 7 milioane de ani, dar prezintă la fel de multe diferențe de organizare față de grâu, la nivelul cromozomilor, ca și orezul, care s-a separat de grâu în urmă cu 60 de milioane de ani.

O altă comparație s-a realizat între genomul de arabidopsis și cele ale rudelor sale apropiate. Varza, napul și muștarul negru conțin genomul de arabidopsis în trei exemplare. De-a lungul celor aproximativ 10 milioane de ani în care această familie a verzei s-a dezvoltat în multe specii înrudite, grupările de gene comune depășesc ca număr rearanjamentele cromozomiale.

Din contră, Gale și Devos au găsit foarte puține asemănări între ordinea genelor la arabidopsis și la cereale, cu toate că au în comun peste 20 000 de gene individuale. Aceste plante fac parte din cele două clase diferite ale plantelor cu flori, de tip magnolie și respectiv de tip crin. Numite și dicotiledonate și monocotiledonate, aceste clase se diferențiază prin prezența a două frunze sau a uneia singure în embrionul din sămânță.

Dicotiledonatele au o descendență mai veche și au mai multe specii, inclusiv arabidopsisul și aproape toți copacii care înfloresc, majoritatea plantelor ornamentale și multe plante de cultură precum cartofii și fasolea. Monocotiledonatele de tip crin au derivat din dicotiledonate acum 200 de milioane de ani. Acestea includ cerealele, palmierii și orhideele.

Odată cu primele două genomuri, cel de arabidopsis dicotiledonat și cel de orez monocotiledonat, geneticienii se puteau considera cu paharul fie pe jumătate plin, fie pe jumătate gol. Deși există 250 000 de specii de plante cu flori, un biolog care lucrează cu oricare din ele poate folosi genomul de arabidopsis și pe cel de orez ca pe niște enciclopedii ale genelor în care să caute pur și simplu corespondențe. Tehnicile specifice biologiei moleculare facilitează această metodă de lucru, astfel încât poate fi citită o secvență scurtă din gena plantei și apoi poate fi căutată în bazele de date ale genomurilor. Sau invers: poate fi căutată o anumită genă de arabidopsis sau de orez în planta respectivă, pescuind-o cu o bucată de cod.

Șansele de reușită sunt mari, dar la fel ca și cu orice enciclopedie, nu vei găsi întotdeauna ceea ce cauți. În special în cazul plantelor de cultură importante,

necesitatea secvențierii genomurilor este imperioasă, chiar dacă aceasta înseamnă aplicarea metodei „shotgun”, mai degrabă decât a metodei costisitoare a fiecărui cromozom în parte. Iar în afară de plantele cu flori, tipurile mai vechi de plante incluzând mușchii, ferigile și coniferele, așteaptă la rândul lor să fie cercetate mai îndeaproape.

„Determinarea secvenței genomului în două cazuri nu reflectă nici pe departe bogăția biologică a plantelor sau potențialul lor biotehnologic” a remarcat Michael Bevan de la Centrul John Innes. Însă el era optimist în privința perspectivelor. „În definitiv, scena este pregătită pentru o creștere explozivă a secvențelor genomice chiar și în cazul celor mai recalcitrante specii de plante”.

● O viziune de ansamblu

O analiză realizată de corporația Integrated Genomics Inc. la mijlocul anului 2002 a contabilizat un număr total de 85 de genomuri completate și publicate, dintre care 61 pentru bacterii, 15 pentru archaea (un grup distinct de creaturi asemănătoare bacteriilor), 2 pentru fungi (drojdii), 3 pentru plante și 4 pentru animale. Însă la momentul respectiv erau în lucru 464 de genomuri. Deși 282 erau ale unor bacterii și archaea, 182 erau ale fungilor, plantelor și animalelor, deci organismele superioare câștigau teren. Câteva exemple de plante și animale ar fi soia, bumbacul, roșia, albina, ariciul de mare, porcul și cimpanzeul.

„Un biolog molecular este un biolog extrem de mic”, era o glumă din anii 1960. În ceea ce privește rezultatele biologiei moleculare este exact invers. Moleculele oferă o viziune de ansamblu a întregii vieți pe Pământ. Pentru a o putea aprecia, biologii trebuie să devină generaliști ca Charles Darwin, cu o minte deschisă care să cuprindă atât jungla moleculară cât și organismele. Pe lângă denumirile confuze ale speciilor în latină, precum *Ranunculus acris* pentru piciorul-cocoșului, aceștia trebuie să se familiarizeze și cu neologisme cum ar fi: locusul înfloririi C – pentru gene și cromo-metil transferaza – pentru proteine.

Frontiera dintre geneticieni și anumiști, dintre biologii specialiști în plante și biologii specialiști în animale, dintre cercetătorii principiilor fundamentale și cultivatorii care urmăresc profitul și dintre cercetătorii de laborator și cercetătorii de teren a dispărut deja. Dacă, de exemplu, doriți să vă specializați în ecologie, ar fi bine să aveți în vedere atât diversitatea genetică în cadrul speciilor, cât și biodiversitatea – și mai ales ceea ce genele pot spune despre adaptarea în trecut, prezent și viitor a plantelor și a animalelor la provocările vieții. Iar dacă veți interpreta genomurile în mod corect, veți observa istoria evolutivă a vieții în general, și a speciilor individuale, înscrisă în codul ADN.

- Pentru metode de citire a genelor, vezi **GENELE** și **GENOMUL UMAN**. Pentru genomuri specifice, vezi **GENOMUL UMAN**, **ARABIDOPSIS** și **CEREALELE**. Pentru mai multe informații despre dublarea genelor, vezi **EVOLUȚIA MOLECULELOR**. Pentru alte interpretări, vezi **PROTEOMELE**, **ALCOOLUL** și **ENZIMELE GLOBALE**.



GENOMUL UMAN

Industrializarea biologiei fundamentale

ESTE SUPRANUMITĂ ȘI „DNA ALLEY” (Aleea ADN), fiind replica din Maryland a lui „Silicon Valley” (Valea Siliciului) din California, cu deosebirea că produce biotehnologie în loc de microcipuri. Axul ei central este autostrada Interstate 270, care trece prin suburbiile înverzite din Washington DC îndreptându-se spre orașul Germantown. Dacă te abați către Rockville și intri pe strada Guide Drive, după câteva intersecții ajungi la clădirile albe ale companiei Celera Genomics. Aici se află echivalentul din Maryland al companiei Intel, care găzduiește ceea ce a reprezentat, pentru o vreme, cel mai uimitor dar și cel mai defăimat proiect din istoria biologiei.

Denumirea Celera provine din latinescul *celer* sau rapid, și a inspirat sloganul companiei: „Descoperirile nu așteaptă”. La începutul secolului al 21-lea, 300 de secvențiatore automate Perkin-Elmer ale companiei Celera descifrau codul genetic al ființelor umane. Acesta conține secvențe de litere chimice A, T, C și G grupate în lanțuri lungi de acid dezoxiribonucleic, ADN, care alcătuiesc genele.

Întregul set al materialului genetic uman, numit genom, constă în 3,2 miliarde de astfel de litere care însumează 2 metri de ADN. Subțirimea firului molecular permite ca întreaga lungime să fie pliată și împachetată în 23 de perechi de cromozomi situați în centrul celulelor microscopice din întregul corp uman. La Rockville, ADN-ul din toți cromozomii a fost capturat cu metoda „shotgun”.

Metoda presupunea prelevarea de ADN de la 5 indivizi diferiți și fragmentarea lui cu ajutorul enzimelor în peste 20 de milioane de secvențe suprapuse. Fragmentele de cromozomi erau introduse în bacterii, prin inginerie genetică, pentru a fi obținute milioane de copii din fiecare. Analizorii traduceau literele fragmentelor. Un sistem complex de 800 de calculatoare interconectate descoperea suprapunerile și reasambla genele sau, mai exact, codurile lor.

Procesul se desfășura cu o rapiditate uluitoare. Craig Venter, inițiatorul companiei Celera, lucrase anterior la Institutul Național de Boli Neurologice și Atacuri Vasculare Cerebrale din Bethesda. Aici a petrecut 10 ani încercând să descifreze o singură genă. Computerele lui de la Rockville puteau face același lucru în 15 secunde.

Venter nu era deloc popular deoarece el realizase în 18 luni, cu o echipă de doar 280 de membri, ceea ce 3 000 de oameni de știință din 250 de laboratoare din întreaga lume realizaseră în 13 ani. Proiectul Genomului Uman, finanțat de mai multe guverne și fundații caritabile, trebuia finalizat în 2005. În urma provocării lansate de Celera, proiectul a fost accelerat prin finanțări suplimentare.

Conducătorii proiectului public din SUA refuzaseră oferta lui Venter de a lucra împreună, spunând că metoda „shotgun” propusă de acesta era fie imposibilă, fie ducea la rezultate neconcludente. Când lui Venter i s-au oferit fonduri private pentru a-și pune ideile în practică, criticii l-au prezentat drept un antreprenor interesat doar de profit. În mass-media au apărut zvonuri care susțineau că Celera urma să patenteze toate genele umane.

Pentru a demonstra valabilitatea metodei „shotgun”, Venter a folosit un genom mai mic, cel al musculiței de oțet, *Drosophila melanogaster*. La începutul anului 2000, când echipa sa secvențiasese deja 90% din genomul uman, Venter și-a dat seama că pentru a-l asambla putea economisi bani și timp dacă utiliza datele pe care programul public accelerat le publicase mai repede decât estimase. Faptul că Venter s-a folosit de aceste date i-a făcut pe oamenii de știință din sectorul public să afirme că teoria lor originală era corectă și că metoda lui Venter ar fi eșuat. Această acuzație a dus la schimburi de replici de genul: „Ba da, a funcționat”, „Ba nu, nu a funcționat”.

Celor mai lipsiți de prejudecăți spectatori le era greu să discearnă în ce măsură opoziția față de Venter era motivată de dorința de a apăra interesul public și în ce măsură era de fapt invidie profesională sau lipsă de fairplay. Ideea că „ceea ce e public e bun – ceea ce e privat e rău” era discutabilă, având în vedere contribuția industriei private la progresele din medicină și farmacologie. Peste 10–20 de ani ceea ce ne vom aminti cu toții va fi doar că metoda lui Venter a funcționat pentru alte specii fără ajutorul nimănui. În plus, intervenția sa privată a dat un imbold binevenit efortului din sectorul public, care a finalizat descifrarea întregului genom uman până în 2003, cu 2 ani mai devreme decât fusese preconizat.

● Disputa patentelor

Distribuindu-l pe Venter în rolul „omului negru”, mass-media i-a motivat cu siguranță pe alți doi eroi care au salvat proiectul public de la o înfrângere totală în fața companiei Celera. Cei doi erau David Haussler și James Kent, informaticieni la UC Santa Cruz. Ei nu beneficiau de dotarea tehnică de la Celera pentru a asambla genomul, însă Haussler a reușit în cele din urmă să achiziționeze 100 de computere.

Kent era expert în animație pe computer și a devenit doctorand în biologie. Lucrând zi și noapte, el a elaborat un program complex și a realizat prima ansamblare a genomului uman în doar o lună. Ceea ce l-a impulsionat să facă acest efort supraomenesc a fost teama ca nu cumva Venter să apuce să patenteze genele.

„Biroul de Invenții al Statelor Unite este, după părerea mea, iresponsabil atunci când permite oamenilor să patenteze o descoperire în loc de o invenție”, a spus Kent. „Este foarte supărător. Așa că am dorit să obținem cât mai repede posibil un set de gene prin finanțare publică.”

Între timp Venter completa, într-adevăr, cereri provizorii de patentare pentru descoperirea unor gene relevante din punct de vedere medical. Însă el a atras atenția că guvernul Statelor Unite a făcut la fel și a insistat ca Celera și guvernul să aibă exact aceeași poziție relativ la patentarea genelor. „Ar trebui impus un standard foarte înalt”, spunea el. „Trebuie să știi anumite lucruri – cum acționează gena respectivă – care să fie cu adevărat folositoare medicinei. Așa încât patentarea este o problemă falsă, folosită ca armă politică, pentru a chinui și prosti oamenii.”

Tensiunea dintre cele două tabere a atins apogeul în 2001, când atât Celera, cât și Proiectul Genomului Uman au publicat primele schițe ale genomului uman. Ambele articole urmau să fie publicate în revista *Science* care apare la Washington, dar tabăra publică a încercat să impună anumite condiții referitoare la accesul la datele obținute de Celera. Datorită acestor piedici întâmpinate, Celera a oferit lucrarea și secvențele genelor revistei londoneze *Nature*. Totuși, deși a fost pusă în această situație, câteva luni mai târziu, compania Celera a semnat un contract guvernamental substanțial, pentru descifrarea genomului șobolanului.

În orice caz, realizarea celor două versiuni ale genomului uman a fost un lucru bun, pentru verificarea uneia cu ajutorul celeilalte. Confirmarea a venit atunci când ambele grupări au afirmat că numărul genelor umane este mai mic decât 100 000, cum se estimase până atunci. Gruparea publică evalua numărul acestora la 30 000 – 40 000 gene, în timp ce Venter și echipa lui afirmau că numărul genelor se situează undeva între 27 000 și 39 000.

● „Pisicile leneșe”

În cea mai mare parte a secolului al 20-lea, genomul a fost un termen global folosit de geneticieni pentru a denumi întreaga poveste. Ideea că genomul uman ar putea fi decodificat în întregime s-a născut în mințile biologilor la începutul anilor 1980. Totul a pornit de la modalitatea de a citi secvențe ale lanțului ADN de mai multe sute de litere în același timp, inventată în 1977 de Fred Sanger de la Laboratorul de Biologie Moleculară din Marea Britanie.

Echipa lui Sanger a folosit procedeul pentru a obține prima secvență completă de ADN de 5 000 de litere reprezentând genomul unui virus – phi X174 – ce atacă bacteriile. Apoi au secvențiat cele 16 000 de litere ale genomului mitocondriilor, micuțele centrale din celula umană care au un sistem ereditar propriu, ce se aseamănă cu cel al bacteriilor. În 1982, cel mai bun rezultat a fost descoperirea a 48 000 de litere în genomul lui lambda, un alt virus bacteriofag.

În același an, în Japonia, un fizician devenit biolog molecular, Akiyoshi Wada, a fost recrutat de compania Hitachi pentru a crea roboți care să citească genele prin

metoda Sanger. Din acel moment cercetarea în biologia fundamentală a început să se industrializeze.

Cercetătorii care susțineau ideea Proiectului Genomului Uman spuneau că acesta era echivalentul biomedical al programului spațial Apollo prin care oamenii au ajuns pe Lună. Însă în locul rocilor selenare, acesta ne-ar oferi „Cartea vieții”, aducând beneficii imense atât medicinei, cât și cercetării fundamentale. Protagoniștii proiectului afirmau că generațiile viitoare îl vor considera cea mai mare realizare a științei secolului al 20-lea.

Pledoaria s-a finalizat cu estimarea financiară a proiectului, care a ajuns la miliarde de dolari ca apoi să revină la sute de milioane. În 1988, guvernul Statelor Unite a finanțat o parte a proiectului, iar alte țări și fundații i-au urmat exemplul. Mai multor echipe coordonate de o Organizație internațională a Genomului Uman li s-au alocat pentru studiu cromozomi umani diferiți, subansambluri ale genomului. James Watson, care descoperise structura ADN-ului împreună cu Francis Crick, a fost coordonatorul echipei americane într-o perioadă crucială.

Metoda „shotgun” de secvențiere a întregului genom, care avea să cauzeze disensiuni mai târziu, fusese deja demonstrată în sectorul public. Echipa lui Sanger a folosit-o pentru virusul lambda. Însă computerele din 1988 nu erau capabile să asambleze zeci de milioane de fragmente de gene. Alegerea metodei „cromozom - cu - cromozom”, sau de citire a ficărui cromozom în parte, părea mai înțeleaptă la vremea respectivă. Avea de asemenea avantajul că știai întotdeauna unde te aflai în cadrul genomului și puteai să alegi porțiuni bine definite dintr-un cromozom, printr-o tehnică ierarhică.

Termenul scadent al descifrării complete a fost stabilit, în 1992, pentru 2005. Chiar și după ce Venter a intervenit în 1998 și i-a obligat pe toți să accelereze ritmul, unii parteneri universitari din această organizație multinațională erau în urma planificării. S-au auzit plângeri de genul – „parc-ar fi niște pisici leneșe”. În final, au contribuit substanțial la finalizarea variantei publice a genomului: Institutul Whitehead din Massachusetts, Colegiul Baylor din Texas, Universitatea Washington din Missouri, Institutul Joint Genome din Californic al Departamentului de Energie al SUA și Institutul Sanger din Anglia, care era susținut de Trustul Wellcome.

Deoarece cea mai mare parte a cercetărilor s-au desfășurat în Statele Unite, cu o contribuție majoră din partea Marii Britanii, președintele american și prim-ministrul englez și-au asumat sarcina de a anunța, pe 26 iunie 2000, că genomul uman a fost decodificat aproape în totalitate. „Este cea mai importantă și mai minunată hartă trasată vreodată de omenire”, a spus atunci Bill Clinton. „Primul mare triumf tehnologic al secolului al 21-lea”, a afirmat Tony Blair. Michael Dexter de la trustul Wellcome a observat: „Este o realizare remarcabilă nu doar pentru epoca noastră, ci pentru întreaga istorie a umanității.”

Exaltarea îi îngrijora însă pe unii cercetători. Printre aceștia se număra și Eric Lander de la Institutul Whitehead, unul dintre inițiatorii principali ai proiectului

public al genomului. „Genomul uman a fost numit proiect, Sfântul Graal sau în multe alte feluri. Este o schiță a componentelor”, a spus Lander. „Dacă v-aș fi dat schița unui Boeing 777, care are 100 000 de componente, nu cred că ați fi reușit să le asamblați, și cu siguranță n-ați fi înțeles de ce poate zbura.”

● Materie neagră genetică

Când specialiștii colorează cromozomii purtători ai genelor pentru a-i studia la microscop, ei remarcă un model de benzi întunecate și luminoase. Analizele genomice au demonstrat că genele sunt concentrate mai ales în benzile luminoase. Aspectul diferit provine dintr-un dezechilibru chimic al ADN-ului repetitiv din regiunile sărace în gene, care din această cauză rețin mai ușor culoarea și apar astfel mai întunecate.

„Se pare că genomul uman prezintă într-adevăr zone pustii, sau regiuni considerabile sărace în gene”, a comentat echipa de la Celera. O mare parte a ADN-ului repetitiv poartă mereu și mereu aceleași informații genetice neinteligibile. Nu este o intruziune minoră, ci aproximativ o treime din întregul ADN este în mod sânguinos copiat și recopiat de la părinte la copil, și de la o celulă la alta. Unii cercetători imprudenți îl numesc „junk” (deșeu), iar alții recunosc că dacă are totuși un rol, ei încă nu știu care este acesta. La fel stau lucrurile și cu materialul non-repetitiv denumit uneori și „ADN egoist” – și considerat a fi un pasager clandestin care s-a alăturat călătoriei evolutive.

Genomul este, prin urmare, mult mai mult decât suma genelor sale. Zonele deșertice din benzile cromozomiale întunecate amintesc de conceptul de materie neagră din cosmologie. Când astronomii au realizat că stelele vizibile reprezentau mai puțin de 10% din masa unei galaxii, au petrecut 50 de ani căutând „masa lipsă” și adaptându-și ideile despre cosmos astfel încât să țină cont de existența ei. Astăzi, geneticienii sunt puși în fața unui genom în care mai puțin de 10% din ADN este atribuit genelor funcționale. Diferența este că materia neagră genetică e deja cunoscută. Este tangibilă și lizibilă, sub formă de secvențe de litere ale codului.

Indicii despre semnificația ei pot apărea din distribuția foarte inegală a zonelor deșertice în cromozomi. Cromozomii care determină sexul, X și Y, au extrem de puține gene în oazele lor. Micuța pereche de cromozomi cu numărul 19 are foarte puține benzi întunecate și foarte multe gene, dar și o cantitate excesivă de ADN repetitiv. Pentru înțelegerea surprinzătoarelor peisaje ale genomului este fără îndoială necesar un nou mod de a gândi în biologia modernă – iar experiența astronomilor ar trebui să tempereze speranța în soluțiile facile.

Schițele genomului uman au rezolvat definitiv o problemă controversată a biologiei. Dovezi provenite de la bacterii au arătat că multe gene nu se transferă vertical, de la părinți la urmași, ci lateral, între organisme care coexistă, chiar și din specii diferite. Dacă asemenea evenimente s-ar petrece în mod obișnuit și în lumea animală, atunci evoluția ar putea deveni revoluție. Răspunsul pe care ni-l dă genomul este că foarte puține gene au fost dobândite de la bacterii în ultimii

600 de milioane de ani de evoluție animală – cu siguranță nu suficiente pentru a modifica tabloul genealogic al trecerii de la viermi la pești, la reptile, la mamifere, la primate și în final la oameni.

● Implicațiile politice și filozofice

În ceea ce privește genetica, industrializarea biologiei fundamentale înseamnă utilizarea roboților analitici și a computerelor performante. Ceea ce a fost inițiat în cazul genelor în secolul al 20-lea va fi continuat cu proteinele în secolul al 21-lea, cu ajutorul altor industrii. Pentru a afla rolul genelor, trebuie să identificăm proteinele a căror producere o comandă acestea. Australienii au numit această nouă disciplină proteomică, prin analogie cu termenul de genomică. Fizicienii germani au dezvoltat lasere cu raze X ce vor accelera munca de cercetare a formelor proteinelor.

Acest efort este foarte costisitor în ceea ce privește echipamentul și experimenterii competenți. De aceea cercetarea are tendința să se concentreze în cele mai bogate țări și în cele mai bine dotate laboratoare din lume. Pe de altă parte, rezultatele – sub forma bazelor de date ale genelor și proteinelor – sunt disponibile gratuit, pe Internet; cercetătorilor de pretutindeni, în vederea continuării investigațiilor al căror orizont este nelimitat.

Specialiștii în genetica plantelor au dat un exemplu cu genomul de arabidopsis. În timpul desfășurării proiectului informația era oferită integral publicului, în așa fel încât cel mai nou set de rezultate ajungeau în baza de date publică chiar înainte ca cei ce îl obținuseră să apuce să îl examineze ei înșiși. Demersul a fost numit democratizarea biologiei plantelor.

Dacă specialiștii în biologie, agricultură și medicină din țările sărace, cu laboratoare slab dotate, beneficiază de acces rapid la informații, acest fapt va reabilita interesul pentru dreptul de proprietate publică, din disputele pe tema genomului uman. În 2001, în câteva ore din momentul în care datele provenind de la amândouă proiectele genomului uman, cel public și cel privat, au fost disponibile online, site-urile au fost accesate din toate colțurile pământului. Francis Collins de la Institutul Național de Cercetare a Genomului Uman din Statele Unite a declarat: „Am oferit posibilități și acces liber tuturor creierelor de pe planetă.”

În scurt timp Venter a trebuit să plece de la Celera. Cu atâtia în jur care ofereau gratuit informații despre genom, profitabilitatea companiei ajunsese să depindă de dezvoltarea medicamentelor, ceea ce nu era domeniul său. El a recunoscut că era mai mulțumit în lumea științifică non-profit, unde se simțea mai liber să spună ce gândea.

Printre noile sale preocupări, putem menționa crearea unui grup de experți preocupat de etică – Centrul pentru Dezvoltarea Genomicii. Venter știa poate mai bine decât unii dintre criticii săi care erau implicațiile politice și filozofice ale genomului uman pentru specia umană. Problema dreptului la intimitate, rasismul

și „cârpăceala” genetică se pot dovedi mult mai deranjante, pe termen lung, decât chestiunea patentelor sau a informației comercializate.

„Înainte să vă puneți întrebări referitoare la genomul uman”, a spus cândva Venter, „fiți foarte siguri că vreți să aflați răspunsul.”

● Islandezii intră în scenă

Citirea genomului ne-a oferit o primă imagine a variațiilor genelor care fac din fiecare dintre noi o persoană unică. Cei doi bărbați și cele trei femei al căror ADN a fost secvențiat de către compania Celera au completat la descendența etnică: chinez, afro-american, hispanic și caucazian. Computerele au înregistrat 4 milioane de secvențe ADN în care o literă a codului genetic diferea între aceste persoane. Aceste variații se numesc „snips”, porecla prescurtării SNPs de la „single-nucleotide polymorphisms” (polimorfism mononucleotidic).

Cercetătorii din domeniul medical au indicat „snips” ca fiind posibila scenă a mutațiilor ce influențează vulnerabilitatea la boli. Descoperirea unor asemenea factori a fost anunțată a fi una din principalele ținte ale proiectului genomului. Însă era o sarcină extrem de laborioasă, și islandezii aveau deja un avans.

Populația lor de mai puțin de 280 000 de oameni are cea mai bună arhivă genealogică din lume. Aceasta conține date mai vechi de 1 000 de ani și acoperă aproximativ jumătate dintre toți islandezii care au trăit vreodată, de când vikingii norvegieni s-au stabilit pe insulă împreună cu femeile celte pe care le-au luat cu ei în drumul lor. Înregistrările începând din anul 1700 sunt aproape complete, conținând date medicale din belșug, inclusiv cauza morții. Prin urmare este destul de ușor să găsești predispozițiile moștenite genetic pentru anumite afecțiuni, odată ce ai promis să folosești nume de cod pentru fiecare persoană în parte.

De exemplu, consultând arhiva genealogică descoperim că 100 de bolnavi de astm aparent neînruțiți au un strămoș comun în secolul al 18-lea. În continuare, genele implicate sunt ușor de identificat, prelevând probe ADN de la fiecare dintre cei vii din liniile de descendență implicate, din 1 000 de locuri din genom, și folosind un computer pentru a sorta segmentele din genom care par a fi comune. Acestea pot fi examinate apoi în detaliu pentru a detecta anumite gene sau grupuri de gene asociate cu astmul.

Dând dovadă de o predictibilitate ce devine cu timpul aproape înduioșătoare, Institutul Național pentru Sănătate al Statelor Unite a refuzat să-l finanțeze pe Kari Stefansson, pe atunci aflat la Harvard, când a propus folosirea acestei resurse unice a țării sale pentru a identifica genele implicate. A fost avertizat că metoda nu va da rezultate. Refuzat la fel ca și Venter, Stefansson a obținut, de asemenea, finanțare privată.

A creat compania Decode Genetics la Reykjavik în 1996 și curând a obținut mai multă putere financiară asociindu-se cu compania farmaceutică elvețiană Roche. În 2002 avea la dispoziție sute de experți, mostre de sânge de la o treime din

populația islandeză adultă și 56 de secvențatoare de ADN. De asemenea, anunțase deja descoperiri genetice noi în cazul unor boli, cum ar fi boala Alzheimer, schizofrenia, accidentul vascular cerebral, osteoporoza, obezitatea, tulburările de anxietate, diabetul și artrita reumatică. Cercetătorii din țările care conduceau proiectul genomului, Statele Unite și Marea Britanie, implicați în proiecte publice majore ce urmăreau genetica bolii snip cu snip, s-au simțit pe bună dreptate depășiți.

„Cei ce s-au ocupat de genom au făcut o treabă bună”, a spus Stefansson. „Dar pentru un succes medical cu ajutorul tehnicilor moderne ai nevoie de pacienți reali, cu istoric ereditar ușor de identificat și de modalități rapide de a găsi genele responsabile. Este exact ceea ce avem noi în Islanda. Este îmbucurător că mica noastră țară poate face ceva atât de senzațional în cercetarea biomedicală a secolului al 21-lea.”

Sarcina companiei Decode Genetics a fost mult ușurată de originea comună a islandezilor, care face ca genele lor să fie mult mai puțin variate decât cele ale populațiilor mari și mobile. Dar acest avantaj a ridicat totodată problema dacă mutațiile care determină apariția bolilor, identificate în Islanda, vor fi aceleași și în alte părți ale lumii. Cu alte cuvinte, remediile potrivite pentru islandezi ar da rezultate și pentru chinezi?

Răspunsul pare a fi pozitiv, după cum a demonstrat pentru prima dată compania, relativ la gena pe care o asociase schizofreniei. Escaladând 100 de ani de cercetări psihiatrice, neurologice și genetice neconcludente asupra acestei teribile boli mintale, transmisă pe cale ereditară și care afectează un adult din 100, echipa de la Reykjavik a descoperit gena Neuregulin 1 asociată schizofreniei. Aproximativ 500 de voluntari schizofrenici din Islanda au contribuit la descoperirea ei. Comparațiile cu rudele lor și cu grupuri de control au arătat că defectele acestei gene, localizată pe cromozomul nr. 8, în cel mai bun caz dublează riscul apariției schizofreniei. Cobaii a căror genă Neuregulin 1 a fost dezactivată au manifestat deviații de comportament și modificări cerebrale asemănătoare celor observate la pacienții schizofrenici. Verificarea pe alte populații nordice a demonstrat că același segment al genei contribuia la un risc de boală a schizofreniei similar. Rezultatele studiului desfășurat pe populația chineză a indicat de asemenea un risc crescut de îmbolnăvire datorată funcționării necorespunzătoare a genei Neuregulin 1, ca și la islandezi, deși segmentul de genă pus în legătură cu boala era ușor diferit.

„Aceste rezultate ne furnizează dovada concretă a ceea ce am crezut întotdeauna: că genele importante ale afecțiunilor obișnuite din Islanda vor fi aceleași oriunde în lume”, a spus Stefansson. „Medicamentele fabricate pe baza descoperirilor noastre vor avea ca țintă boala independent de populație.”

Instrumentele de diagnosticare a susceptibilității unui individ la o anumită boală reprezintă un alt subiect. Posibilele mutații din genele asociate bolii în diverse părți ale lumii nu sunt bine reprezentate în populația mică și relativ izolată a

Islandei. Grupuri de cercetare medicală din întreaga lume s-au alăturat companiei Decode Genetics pentru a găsi întreaga gamă de variații genetice în legătură cu boala în cauză.

- Pentru mai multe detalii despre decodificare, inclusiv despre metoda decisivă a lui Sanger, vezi **GENELE**. Pentru alte genomuri și interpretările lor, vezi **GENOMURI**, **ORIGINEA UMANĂ**, **ARABIDOPSIS** și **CEREALELE**. Pentru mai multe detalii despre interpretări, vezi **PROTEOMELE** și **ENZIMELE GLOBALE**.



Între calculatoare și stăpânirea lumii

„**H**AI SĂ CITIM *PRAVDA* LA MICUL DEJUN”, spuneau oficialii Statelor Unite ale Americii în primii ani ai Războiului Rece. Ideea era că noile, pe atunci, computere digitale, echipate cu dicționare electronice, ar fi trebuit să furnizeze aproape instantaneu traduceri ale ziarelor sau ale altor documente rusești. Era însă o speranță zădărnă. Cu aproape jumătate de secol mai târziu, când calculatoarele au devenit mult mai performante, iar nuanțele limbajului au fost mult mai bine înțelese, traducătorii aveau o și mai mare căutare – adesea pentru a corecta erorile, imperfecțiunile și absurditățile persistente încă în ciornele traducerilor automate.

Din punct de vedere practic, problemele pe care le-au întâmpinat computerele și programatorii lor în traducerea limbajelor naturale au fost regretabile. Organizațiile multilingve, precum ONU și UE, s-au confruntat cu cheltuieli din ce în ce mai mari pentru traducerea unor discursuri scrise sau vorbite. Nu era întotdeauna ușor de găsit un traducător din limba birmaneză în limba letonă și invers. Speranțele că traducerea automată ar putea salva limbile minore pe cale de dispariție au fost spulberate.

Chiar și limbile majore, cu suport cultural, au avut de pierdut, deoarece limba engleză a fost adoptată, peste tot în lume, drept lingua franca. După unii utilizatori, influența economică, politică și culturală a Statelor Unite și a țărilor din Commonwealth nu poate fi singura explicație a acestui fapt. „Limba rusă nu este ușor de stâlcit”, i-a declarat Nicolai Bogoliubov, un fizician teoretician rus, unui profesor invitat olandez, explicându-i de ce el și colegii săi din estul Europei

vorbeau cu colaboratorii străini într-o engleză stricată. Probabil se poate spune același lucru despre germana denaturată și franceza stâlcită.

Pe de altă parte, deficiențele traducerilor automate au întărit încrederea în sine a oamenilor. În perioada anilor 1950 și 1960, profeții inteligenței artificiale se lăudau că produsele lor vor scoate în curând din circulație toate monedele actuale. Dar limbajul a apărut ca un obstacol greu de trecut, fiind o trăsătură principală, aproape inimitabilă, a inteligenței umane. Vorbind și ascultând, oamenii obișnuiți au de-a face, extrem de rapid, cu complexități și ambiguități atât de subtile, încât experții au lucrat îndelung și din greu pentru a le putea defini regulile.

„Cred că trebuie să avem mare grijă să nu subestimăm originalitatea, competența și profunzimea facultăților mintale relevate în momentul în care un copil alcătuiește o propoziție originală”, declara Noam Chomsky de la Institutul de Tehnologie Massachusetts (MIT).

În această privință, teoreticianul lingvisticii relua părerea lui René Descartes care observa, în secolul al 17-lea, că niciun animal și nicio mașină automată nu ar putea rivaliza nici măcar cu un om debil mintal în aranjarea cuvintelor într-o propoziție. Descartes considera limbajul o dovadă suficientă a existenței sufletului, însă Chomsky a respins orice explicație supranaturală. „Se vor descoperi, fără îndoială, unele funcții ale creierului care să explice aceste capacități înăscute, de neînțeles pentru moment. Dar mai este mult până atunci.”

Din anul 1957, Chomsky a revoluționat teoria lingvistică. El a susținut că în pofida diferențelor superficiale enorme, toate limbile s-au conformat unei gramatici universale, bazate pe calitățile universale ale spiritului uman. Un copil se folosește de aceste calități inerente atunci când învață particularitățile propriei limbi.

Aici gramatica nu trebuie înțeleasă în sensul didactic îngust a ceea ce este considerat propriu sau impropriu într-o anumită limbă standardizată. Cu mult înainte ca vreun școlar să analizeze o propoziție, gramatica a oferit pretutindeni bazele unei comunicări eficiente între indivizi. Ea se bazează pe convenții împărtășite de aceștia ori de câte ori se înlanțuie cuvinte. Acestea corespund întrutotul gramaticii școlare, însă proba practică este înțelegerea reciprocă. Gramatica universală a lui Chomsky nu este doar un ansamblu de reguli pentru distingerea propozițiilor corecte de cele incorecte. Sub structura de suprafață a unei propoziții se află o structură de adâncime ce înglobează propoziții nerostite despre subiectul în discuție. Acestea sunt legate de cunoașterea comună despre lume, în general, și de cunoașterea contextului împărtășită de interlocutori. La sfârșitul secolului, Chomsky și școala sa au pus în contrast „forma logică” de adâncime cu „forma fonetică” a exprimării reale, ce variază de la o limbă la alta.

Chomsky însuși a fost mai puțin exigent cu privire la aspectul evoluționist al teoriei sale și la modul în care gramatica a putut să apară odată cu trecerea de la maimuțe antropoide la oameni. Cu un secol mai devreme, Charles Darwin afirmase că vorbirea este instinctivă, „așa cum se poate vedea în gânguritul copiilor

mici". Neurologii s-au întrebat dacă gramatica se află în genele noastre care ar putea determina conexiunile din creierul uman necesare talentului universal proclamat de Chomsky. La începutul secolului al 21-lea încă nu se putea observa un progres considerabil în această direcție. Când prima genă legată de limbaj a fost descoperită în anul 2001, s-a constatat că aceasta se referea mai degrabă la producerea sunetelor vorbirii cu ajutorul gurii și al limbii decât la alcătuirea propozițiilor.

● Avea dreptate Chomsky?

Ideea unei gramatici universale a avut o influență foarte puternică asupra psihologilor, filosofilor, ca și asupra lingviștilor. Dar teoria lui Chomsky nu a scăpat necontestată. Câțiva critici considerau că toate limbile au principii comune, fiindcă legătura cauză–efect este universală. Acțiunea observabilă a unui obiect asupra altuia ar putea fi suficientă pentru a determina logica verbului, a subiectului și a obiectului.

Alții au fost de părere că Chomsky a exagerat prea mult importanța gramaticii formale. Comunicarea umană se realizează chiar și atunci când propozițiile sunt incomplete sau agramate. Acest lucru este cel mai evident în gânguritul bebelușilor care încearcă să comunice cu mamele lor.

În anii 1970, la Oxford, psihologul experimentalist Jerome Bruner a înregistrat pe bandă video copii mici care învățau să vorbească. El a fost uimit de calitatea ludică a interacțiunilor verbale ale acestora cu adulții. Regulile limbajului păreau similare cu cele ale unui joc de tenis sau ale oricărui alt joc. Departe de a se baza pe conexiuni cerebrale speciale, limbajul, credea psihologul, era de fapt un produs secundar al inteligenței flexibile și mai ales al unei aptitudini generale de a crea reguli – observabile, de asemenea, în comportamentul copiilor în timp ce se joacă.

„Ei trec foarte repede într-o lume imaginară unde creează reguli și convenții adevărate pentru lucruri și personaje fictive”, spunea Bruner în 1976. „În curând, ei creează reguli pentru reguli – cum se fac regulile – și de fapt aceasta este cultura. Cum facem lucrurile cu cuvinte, cum inventăm comportamente convenționale corespunzătoare. Și nu-i așa că e inteligentă Natura, pentru că a făcut ca jocul, asemenea majorității lucrurilor importante din viață, să nu funcționeze dacă nu există și un aspect amuzant?”

Adepții preadaptării creierului uman la limbaj puteau considera că regulile jocurilor și ale fanteziilor sunt mai degrabă produse secundare ale capacităților vorbirii decât invers. Perspectiva lui Chomsky asupra evoluției limbajului era mult mai deschisă decât a celor ce își doreau o gramatică conectivă. Chomsky nici măcar nu a insistat asupra faptului că selecția naturală ar favoriza limbajul. Ar putea fi un produs secundar al creierelor dezvoltate, favorizate de evoluție din alte motive – ce nu sunt neapărat incompatibile cu creierele iubitoare de distracții ale lui Bruner.

În deceniile următoare, întrebarea de tipul „Cine a apărut mai întâi – oul sau găina?”, respectiv inteligența generală sau limbajul, nu și-a aflat un răspuns. Gramatica chomskyană însăși a devenit un sistem din ce în ce mai abstract pentru analiza propozițiilor, având tot mai puține legături cu viața reală într-o lume poliglotă. Fără a abandona căutarea principiilor universale, majoritatea lingviștilor s-a întors la punctul de plecare al lui Chomsky. Aceștia au analizat în detaliu numeroase limbi, căutând indicii ale mecanismelor mentale și sociale ale gramaticii în numeroasele diferențe existente între ele, dar și în similitudinile evidențiate de Chomsky.

Alții, ce se autodenumeau lingviști computaționali, s-au întors la problema traducerii, adoptând însă o abordare deschisă față de natura limbajului. Deși în esență se datora ideilor lui Chomsky, această direcție avea o tendință nonconformistă în ceea ce privește gramatica. Se căuta o gramatică ce ar permite calculatoarelor să utilizeze mai bine limbajul natural, la modul practic.

Aceasta nu trebuie să fie neapărat aceeași metodă pe care o folosește creierul. Gramatica unui mecanism ar trebui să se adapteze calculatorului și logicii sale, care nu este neapărat aceeași cu cea a creierului. Dar ea trebuie să soluționeze aceeași problemă: cum s-ar putea trimite și recepționa informații și comentarii fără ambiguități, folosind secvențe liniare de cuvinte ale unei limbi naturale existente?

Extragerea înțelesurilor exacte, neambigue, ale cuvintelor de către un calculator era o operație similară cu înțelegerea lor de către un ascultător sau cititor uman. Și constituia totodată o premisă obligatorie, dacă funcția computerului era să redea corect semnificația într-o altă limbă. Există însă o mare diferență, și anume aceea că mașina nu avea nevoie să înțeleagă semnificația pentru propria cunoaștere, așa cum o face conștiința umană.

Lingviștii computaționali au dotat calculatoarele cu metode empirice pentru a rezolva ambiguitățile limbilor naturale, fapt ce a mai șlefuit puțin traduceri automate curente. Ei au contribuit la creșterea gradului de folosire a limbajelor naturale în introducerea și extragerea de date pentru calculatoarele de uz general. Și ca o realizare de avangardă, lingviștii computaționali au autorizat calculatoarele să poată genera orice număr de propoziții logice, gramaticale, care pot fi înțelese de către oameni.

Aceste sisteme au funcționat în microcosmosurile unui vocabular limitat, într-un domeniu restrâns al cunoașterii și al datelor. Descrierile și comparațiile artefactelor dintr-un muzeu erau un exemplu de astfel de microcosmos, în cadrul unui proiect internațional finanțat de Uniunea Europeană, la sfârșitul anilor 1990.

● Progresul științei cognitive

„Oamenii chicotesc și se înroșesc când vine vorba despre astfel de lucruri, și anume că adevărata promisiune a inteligenței artificiale este că îi va proiecta pe succesorii noștri”, a declarat Marvin Minsky de la Institutul de Tehnologie

Massachusetts (MIT). El s-a remarcat în anul 1956 drept unul dintre tinerii revoluționari având ambiția de a construi roboți și computere capabile să depășească inteligența umană. Aceștia au fost susținuți de entuziaști ai științelor spațiale, care credeau că e mult mai ușor să colonizezi galaxia cu creiere de siliciu decât cu oamenii condiționați de oxigen, apă, hrană și divertisment.

Mulți au fost șocați de această trădare a propriei specii, întrebându-se cum și-au permis Minsky și colegii săi să stabilească asemenea obiective pentru inteligența artificială. Autorii de literatură științifico-fantastică au imaginat scenarii înfricoșătoare, în care un computer preia controlul lumii sau, în cazul răzvrătutului HAL din filmul *2001: Odissea Spațială*, sistează resursele vitale ale echipajului unei nave spațiale.

„Îmi pare rău, Dave”, spune HAL „dar în concordanță cu instrucțiunea C1532/4, citez, în cazul în care echipajul moare sau este scos din funcțiune, computerul trebuie să preia controlul, închei citatul. În consecință, eu trebuie să trec peste autoritatea ta din moment ce tu nu mai ești capabil să ți-o exerciți în mod inteligent”.

Din fericire, până în anul eponim 2001 nu s-au proiectat, nicăieri în lumea reală, astfel de roboți vorbăreți și ambițioși precum HAL. Până în acel moment, inteligența artificială fusese mai degrabă o publicitate exagerată decât ceva real. Excepțiile includeau eforturile reușite de a organiza cunoașterea expertă pentru diagnosticarea computerizată, spre exemplu, în medicină și geologie. Tot în această categorie se înscriau și eforturile de construire a unor sisteme electronice capabile să analizeze și să ia decizii în circumstanțe diferite.

Unele dintre aceste sisteme au fost încorporate în roboți mobili. Însă, ca și în cazul lingvisticii computaționale, acestea funcționau în cadrul unor microcosmosuri minuscule în comparație cu domeniul activității umane zilnice. Capacitatea de viziune sau imaginație, în sensul interpretativ în care ființele umane o utilizează în mod constant, s-a dovedit a fi extrem de dificil de imitat de către roboți.

Un moment de maximă importanță a fost performanța din 1997 a unui computer IBM, denumit Deep Blue, care l-a învins la șah pe campionul mondial Gary Kasparov. Însă modalitatea prin care a câștigat era aproape antiteza șireteniei umane. Deep Blue a utilizat numai puterea de calcul pentru a evalua rapid fiecare serie posibilă de mutări și contra-mutări. În pofida unei glorii binemeritate de altfel, șahul reprezintă totuși doar o mică parte din viața umană.

Necesitatea de a înțelege într-un sens mai general modalitatea funcționării creierului în plin proces de gândire și exersare a inteligenței normale era implicită în dificultățile inteligenței artificiale și ale limbajului. În anul 1959, Chomsky a atacat public cartea *Comportamentul verbal* (*Verbal Behavior*, 1957), al cărei autor, Burrhus F. Skinner, principalul psiholog comportamental de la Harvard, considera cercetările asupra minții și gândirii conștiente ca fiind în afara domeniului științei, iar limbajul, ca un set de răspunsuri condiționate.

Influentă, în acel moment, era și activitatea lui Jean Piaget din Elveția, care a dovedit că procesele mintale ale unui copil depind de vârsta sa.

Treptat, psihologia cognitivă s-a reafirmat în Statele Unite și s-a aliat cu experți în lingvistică, informatică și filozofie, în vederea atingerii scopului ambițios de a înțelege inteligența umană. O revistă multidisciplinară, *Cognitive Science* (*Știința cognitivă*) (1976), avea să deschidă calea creării Societății de Științe Cognitive, câțiva ani mai târziu. În cercul din ce în ce mai larg al universităților din întreaga lume, această denumire a apărut pe documentele programelor interdepartamentale și chiar pe cele ale departamentelor independente de științe cognitive.

Această convergență nu promitea răspunsuri imediate, însă recunoștea domeniul efortului intelectual necesar pentru înțelegerea autoreferențială a funcționării creierului în plin proces de gândire. Între timp, dificultatea întâmpinată de sistemele electronice referitoare la limbaj și gramatica lui pare să blocheze ideea că un computer asemănător lui HAL ar putea fi mai inteligent decât ființele umane. Însă rămâne să reflectăm asupra unui astfel de scenariu și să ne luăm precauțiile necesare.

Deoarece gramatica reprezintă, în primul și în ultimul rând, o aptitudine comună persoanelor antrenate într-o conversație, ea se îmbină cu comportamentul social și cu bunul simț al vieții de zi cu zi. Există numeroase motive și păreri pentru a susține această afirmație. Progresul lingvisticii depinde, așadar, de însușirea simultană a mai multor caracteristici ale gândirii și simțirii umane.

„Oamenii trebuie să se gândească și la ceea ce cred, doresc sau intenționează ceilalți participanți la dialog”, a afirmat Alex Lascarides, specialist în științe cognitive de la Edinburgh. „Avem nevoie de o teorie care asociază, într-un sens mai general, scopurile și acțiunile – nu doar acțiunea de a numi lucruri într-o conversație, ci toate tipurile de acțiuni. Cum modelăm această legătură dintre acțiune, credință și dorință? Dacă am avea o teorie despre aceasta, atunci am putea explica de ce oamenii se comportă în felul lor specific, într-o conversație sau în orice alt domeniu.”

► Pentru alte aspecte ale lingvisticii, vezi **LIMBAJELE și VORBIREA**.



GRAVITAȚIA

A avut dreptate unchiul Albert?

"S TĂTEAM PE SCAUNUL DIN BIROUL DE BREVETE din Berna când, dintr-o dată, mi-a venit o idee: «Dacă o persoană ar cădea liber, aceasta nu și-ar simți propria greutate». Am fost foarte surprins. Acest simplu gând m-a impresionat. M-a propulsat către o nouă teorie a gravitației."

Cea mai fericită idee a vieții sale, așa cum a numit-o Albert Einstein, i-a venit în anul 1907. Maestrul ne-a dat cuvântul său că aceasta a reprezentat ideea de bază care l-a inspirat în enunțarea teoriei moderne a gravitației. Avea nevoie de ajutor în ceea ce privește partea matematică, domeniu în care nu a excelat niciodată, însă în rest putea lucra singur. A finalizat-o la Berlin în anul 1915 și a prezentat-o sub titlul de teoria generală a relativității.

Gravitația înseamnă cădere. Ideea genială contra-intuitivă că un corp complet abandonat gravitației nu simte nicio forță este și mai frapantă dacă ne gândim că Einstein nu a putut vedea imaginile astronautilor plutind în imponderabilitate. Vorbind despre un om care cade – de pe acoperișul unei case, după cum dădea drept exemplu adesea – el a trebuit să nu ia în considerație rezistența opusă de aer. Și Galileo Galilei făcuse la fel, în urmă cu trei secole.

Galileo a avut un mare noroc în alegerea materialelor și dimensiunilor în momentul în care a lansat o ghiulea de tun și un glonț de pușcă din vârful turnului înclinat din Pisa. El a observat că acestea au atins pământul la o lățime de palmă diferență. În cadrul unei reconstituiri din anul 1994, Erseo Polacco și colegii săi de la Universitatea din Pisa au constatat că o bilă de plumb și una de aluminiu, ambele de aceleași dimensiuni, ajung la sol la o distanță de aproape un metru. Rezistența aerului poate fi compensată doar prin ajustarea dimensiunilor relative.

Principiul echivalenței, așa cum este denumit în limbaj științific, conform căruia accelerația gravitațională nu depinde de structura corpurilor fizice, pare o ofensă la adresa bunului simț. Un ciocan cade mai repede decât o pană, lucru binecunoscut și de Galileo. Totuși, el a reușit să depășească aparențele comune și să pătrundă în sala motoarelor Naturii: „Am ajuns la concluzia că obiectele cad cu aceeași viteză într-un mediu lipsit de rezistență”.

Un astronaut al misiunii Apollo a lăsat să cadă pe suprafața Lunii un ciocan și o pană, în fața unei camere de luat vederi, iar experimentul a funcționat întocmai,

actualizând legea bunului simț în Era Spațială. Versiunea teoriei forței gravitaționale a lui Isaac Newton, utilizată și de astronauții care au pășit pe Lună, este încă utilă în numeroase situații. Newton a conștientizat faptul că gravitația reprezintă o forță cosmică. Luna și celelalte planete se supun gravitației la fel ca și binecunoscutul măr, iar gravitația devine mai slabă pe măsură ce se mărește distanța, asemeni luminii unei lămpi – se micșorează de patru ori, de nouă ori, de șaisprezece ori etc.. Cu ajutorul acestei legi de inversă proporționalitate cu pătratul distanței, se pot calcula chiar „schimbările bruște de traiectorie ale cometelor”, după spusele prietenului lui Newton, Edmond Halley.

Presupunerea lui Galileo în ceea ce privește viteza egală de cădere a tuturor obiectelor au fost verificate simplu. Forța gravitațională este proporțională cu masa obiectului și se compensează exact cu forța de inerție, care este și ea proporțională cu masa. Pentru o formulă empirică, legea lui Newton era suficient de inteligentă încât să mențină generațiile următoare de fizicieni mai puțin importanți într-o stare de complacere niciodată împărtășită de Newton însuși, care a considerat mecanismul gravitației drept o problemă complicată.

„Faptul că un corp poate acționa de la distanță asupra altuia în vid, fără o interacțiune exterioară, mi se pare o asemenea absurditate încât am convingerea că niciun om în deplinătatea facultăților mintale, în sens filozofic, nu o poate accepta.”

● Lumina pare să încetinească

Teoria gravitațională a lui Einstein este mai mult explicativă decât exactă. Ea justifică legătura dintre corpurile care interacționează gravitațional prin deformarea spațiului dintre ele. Această teorie nu explică pe deplin acțiunile la distanță, pentru că nu arată de ce obiectele cu masă influențează spațiul, ci doar măsura în care ele fac aceasta. Nu se mai pune acum problema stării de complacere, deoarece prea mulți oameni de știință încearcă să demonstreze că unchiul Albert s-a înșelat.

Pentru a-și construi teoria, Einstein s-a întors la experimentul lui Galileo. Din clasa corpurilor care cad cu aceeași viteză face parte și lumina, prin intermediul căreia percepem și ne reprezentăm Universul. Stelele observate în momentul unei eclipse solare par deplasate, deoarece gravitația Soarelui modifică direcția razelor lor tot așa cum menține planetele pe orbite.

Viteza luminii ce provine de la stele scade în momentul în care lumina trece pe lângă Soare, ca și când aceasta ar traversa un strat de sticlă cu un anumit indice de refracție. Din nefericire pentru publicul larg, Einstein și succesorii săi au omis acest comentariu evident referitor la efectele gravitației asupra luminii. Ei au încercat să prevină o posibilă ajustare a legilor fizicii, în cazul în care viteza luminii în vid ar fi variabilă. Într-o asemenea situație, fiecare atom s-ar comporta diferit. Teoria generală a relativității a evitat un astfel de efect, garantând o valoare constantă pentru viteza luminii măsurată local (spre exemplu, de către un atom al Soarelui).

„Viteza luminii nu variază niciodată.” Această afirmație a devenit mantra sau, altfel spus, formula sacră a teoreticienilor. Împreună cu un aparat matematic dificil de înțeles, ea a ascuns strălucirea teoriei lui Einstein timp de o jumătate de secol de la formularea ei. Spre sfârșitul anilor 1960, experimentele radar conduse de Irwin Shapiro de la Institutul de Tehnologie Massachusetts (MIT) au arătat că undele radio venind de la și mergând spre planetele Venus sau Mercur întârzieau de fiecare dată când aceste planete tranzitau partea îndepărtată a Soarelui.

Undele radio reprezintă o formă de lumină, astfel că, măsurată de la distanță, viteza luminii scădea în câmpul gravitațional al Soarelui. Experimentele au confirmat teoria generală a relativității și au eliminat totodată mitul pedant al invarianței vitezei luminii. Aceasta a deschis calea unei interpretări simple a teoriei lui Einstein, conform căreia lumina poate fi absorbită complet de un câmp gravitațional foarte puternic, precum cel al găurilor negre.

„Gravitația reduce în mod evident viteza luminii și încetinește timpul”, a explicat Robert Penrose de la Oxford. „Așa că dacă ne-am gândi la cazul extrem al unei găuri negre, devine clar că viteza luminii ar putea fi redusă la zero, iar timpul s-ar putea opri cu desăvârșire la suprafața acesteia”.

Clar? Depinde de locul în care se efectuează măsurătorile. Măsurate de pe Pământ, semnalele radar ale lui Shapiro încetineau în apropierea Soarelui, dar dacă ne-am putea plasa pe suprafața Soarelui, și dacă am măsura viteza luminii acolo, ar părea că e exact același lucru ca atunci când este măsurată la suprafața Pământului. Aceasta se datorează faptului că timpul se scurge mai încet în apropierea Soarelui, direct proporțional cu reducerea vitezei luminii.

Spațiul și timpul nu reprezintă nici abstractizări cartografice și nici daruri divine absolute, ci purtătorii flexibili ai forței gravitaționale pe care Newton și i-a dorit atât de mult. Pe Pământ, gravitația este puțin mai puternică la rădăcina unui copac decât la nivelul ramurilor, situate la o distanță mai mare de centrul planetei. Timpul și lumina călătoresc mai încet în cazul unui măr căzut la pământ decât în cazul unuiuia agățat în pom, deci acesta posedă mai puțină masă-energie intrinsecă în primul caz. Unde a dispărut energia? Deplasându-se în jos, în direcția unei gravitații mai puternice, mărul a transformat-o inițial în energie cinetică, iar apoi într-o lovitură dureroasă.

Nu poți să te joci cu timpul și cu viteza luminii fără a deforma spațiul. Un corp caracterizat prin masă mărește distanțele din vecinătate, judecând după intervalul de timp în care lumina le parcurge. Spațiul extins pare că se umflă și se curbează local. În cazul în care o planetă încearcă să traverseze în linie dreaptă spațiul deformat de gravitația solară, curbarea acestuia o forțează să se înscrie pe o orbită în jurul Soarelui.

Indiferent de locul în care se manifestă, fie în interiorul unei stații spațiale, fie într-o clopotniță din Pisa, curbura locală a spațiului acționează la fel asupra oricărui obiect situat în interiorul său. În consecință, principiul democratic al lui

Galileo, cu care a debutat analiza noastră, reapare sub forma unei consecințe fizice a gravitației, așa cum este descrisă de teoria relativității generalizate. John Wheeler de la Austin, Texas, a exprimat succint această idee: „Materia îi spune spațiului cum trebuie să se curbeze. Iar spațiul îi spune materiei cum trebuie să se miște”.

● O falie în fizică

Până în prezent, teoria generală a relativității a supraviețuit tuturor testelor și experimentelor din ce în ce mai riguroase. Ea explică de asemenea fenomene noi din Univers, inclusiv găurile negre care alimentează quasarii și undele gravitaționale care transportă energie de la pulsari care orbitează. Fizicienii sunt însă de părere că teoria lui Einstein, ca și cea a lui Newton, se va dovedi a fi doar o aproximare a realității.

Succesul obținut a creat însă o falie chiar prin miezul fizicii. Relativitatea generală consideră spațiul și timpul ca fiind un continuum neted, precum siropul. Acest fapt este incompatibil cu amestecul gen müsli al teoriei cuantice, în care spațiul și timpul ar trebui divizate în particule și momente, deoarece totul oscilează într-un mod aleator și dezordonat.

Principiul incertitudinii din teoria cuantică afirmă că nu se poate cunoaște modul de deplasare al unei particule simultan cu poziția exactă a acesteia. Experimentele cu particule electrice verifică acest principiu. Pe de altă parte, relativitatea generală afirmă că dacă se cunoaște modul de curbare al spațiului, este posibilă determinarea simultană atât a poziției, cât și a impulsului particulei. Parafrazându-l pe Wheeler, se poate afirma că spațiul îi spune materiei cum să se miște, iar experimentele cu forța gravitațională confirmă aceasta.

Contradicția deschisă din laboratoarele de fizică a luat proporții prin consecințele sale în momentul în care astrofizicienii au emis ipoteza conform căreia Universul a luat naștere în urma unui Big Bang și au observat existența unor regiuni cu gravitație intensă – găurile negre. Conform teoriei relativității generale, în momentul în care toată energia din Univers s-a concentrat într-un singur punct, la momentul zero al Big Bang-ului, diametrul Universului trebuie să fi fost zero – un punct geometric, denumit singularitate. Pe de altă parte, teoria cuantică afirmă că dimensiunea acestuia nu ar trebui să fie chiar zero. Aceeași discrepanță se întâlnește și în ceea ce privește concentrația materiei din centrul unei găuri negre.

În anii 1950, John Wheeler lansa ipoteze referitoare la spuma cuantică, conform cărora spațiul-timp din teoria lui Einstein s-ar putea dizolva la distanțe foarte mici. El a scris mai târziu: „Fluctuațiile ar fi atât de mari încât ar elimina existența oricărui concept de dreapta sau de stânga, înainte sau după. Nu ar mai exista conceptul obișnuit de lungime. Noțiunea comună de timp ar dispărea”.

Presupunerea logică era că relativitatea generală ar fi trebuit să se supună teoriei cuantice. Majoritatea descoperirilor majore ale fizicii de la jumătatea secolului al

20-lea se refereau la comportamentul atomilor și al particulelor, care capătă sens doar prin prisma teoriei cuantice. Același lucru este valabil pentru cea mai mare parte a forțelor cosmice. Binecunoscuta forță electrică, forța nucleară slabă care transmută materia, forța nucleară tare care unește protonii și neutronii și interacțiunea cromatică dintre quarci – toate aceste forțe sunt bine înțelese acum ca subiecte ale dinamicii cuantice, manifestate prin particule purtătoare de energie care se deplasează constant între particulele care interacționează.

Gravitația ar putea fi interpretată ca o forță de același tip, având drept particule mesager așa-numiții gravitoni. Alternativ, gravitația poate fi considerată drept o forță diferită, care descrie la început scena spațio-temporală în care acționează particulele. Indiferent de perspectivă, fizica ar putea fi reunificată, iar falia existentă să fie astupată.

● O varietate de teorii

În practică, dezvoltarea teoriei gravitației cuantice, care să înlocuiască relativitatea generală, s-a dovedit a fi o muncă titanică. Aceasta a fost o prioritate a fizicienilor teoreticieni în ultimele decenii ale secolului al 20-lea. Peste o mie de tineri inteligenți s-au luptat cu această problemă. Teoria Finală (Theory of Everything), în care este inclusă gravitația, a fost considerată foarte aproape de a fi demonstrată. Cu toate acestea rezultatele nu i-au satisfăcut pe cercetători.

Teoria corzilor (stringurilor), în care toate particulele se presupune că sunt corzi (stringuri) vibrante foarte mici, a fost cea mai cunoscută abordare a gravitației cuantice în anii 1990. Specialiștii erau foarte încrezători. „Spre deosebire de teoria convențională a câmpurilor cuantice, teoria corzilor implică gravitația”, a afirmat Edward Witten de la Princeton. „Consider acest fapt drept una dintre cele mai profunde pătrunderi în esența științei realizate vreodată”.

Teoria corzilor necesită existența unui univers ipotetic, foarte diferit de cel cu care suntem obișnuiți. Pe lângă cele trei dimensiuni ale spațiului și o dimensiune a timpului, teoria utilizează alte șase dimensiuni în varianta sa de bază și chiar șapte într-o versiune ulterioară în care membranele vibrante înlocuiesc corzile – membrana tobei în locul corzilor de vioară. Dimensiunile adăugate se fac nevăzute, însă vibrațiile complexe pe care le permit pot crea, conform teoriei, diverse particule și forțe ale naturii, inclusiv gravitonul forței de gravitație cuantice.

La începutul secolului al 21-lea, teoria corzilor a rămas doar o ipoteză, fără nicio bază în realitatea cunoscută. Unii dintre cercetători începuseră să își piardă răbdarea. „Teoreticienii corzilor continuă să-și declare succesul”, spunea John Baez de la UC Riverside. „Noi ceilalți ne putem doar întreba dacă ei pășesc pe drumul către glorie sau dacă peste 20 de ani își vor da seama că au intrat într-o enormă fundătură, frumoasă și elegantă din punct de vedere matematic.”

O alternativă la teoria corzilor, sprijinită de Baez însuși, se numește gravitația cuantică cu bucle. Teoria se focalizează pe conceptul de spațiu, care este

imaginat drept o rețea de bucle – precum dantela, dar tridimensională. Fiecare buclă este formată de către o particulă cu un anumit număr cuantic de spin și care efectuează o mică excursie întorcându-se apoi la punctul de plecare. Buclele nu există în spațiu – ele sunt spațiu. Așadar excursiile apar într-un domeniu mai profund al naturii.

Cu toate acestea, teoria buclelor este mult mai simplă decât teoria corzilor. Răsucirile buclelor denotă deformarea spațială cauzată de gravitație. Trecerea timpului este reflectată în schimbări la nivelul rețelei. Continuul spațiu-timp reprezintă suma tuturor rețelelor posibile.

„Nu avem nevoie de toate dimensiunile imaginare suplimentare sau de simetriile abstracte impuse de adepții teoriei corzilor”, a declarat Carlo Rovelli din Marsilia, unul dintre principalii susținători ai teoriei buclelor. „Teoria buclelor oferă o imagine simplă, încântătoare a realității formate din bucle întretesute, și totodată realizează predicții ce pot fi corecte sau incorecte, dar care vor putea fi testate indirect în curând. Spre exemplu, acestea ar putea implica faptul că razele X se deplasează puțin mai lent prin Univers decât undele radio.

● Salvați de experimentatori

În cazul în care s-ar depune același efort pentru dezvoltarea teoriei gravitației cuantice cu bucle precum s-a depus în cazul teoriei corzilor, cu siguranță s-ar obține și alte rezultate pozitive. Însă scepticii nu s-au putut abține să nu reliefeze contrastul dintre natura anevoioasă, plină de piedici a cercetărilor gravitației cuantice și inspirația ce a permis unui singur om, Albert Einstein, să reconstruiască Universul în mintea sa în doar câțiva ani, atunci când a inventat relativitatea generală.

Vor veni experimentatorii în ajutorul teoriei gravitației cuantice? La o analiză mai atentă, noțiunile obișnuite de spațiu și timp ar trebui să se descompună în fragmente minuscule precum o pictură poantilistă. Particulele și momentele spațiu-timpului cuantic ar fi însă extraordinar de mici. Numite lungimea și timpul Planck, ele au valoarea de un centimetru împărțit la 10 urmat de 32 de zerouri, respectiv o secundă împărțită la 10 urmat de 42 de zerouri. Ele sunt prea mici pentru a putea fi examinate cu microscopul existente – acceleratoarele de particule – cu un factor de peste un milion de milioane.

În anul 1998, Nima Arkani-Hamed și Savas Dimopoulos de la Stanford, în colaborare cu Gia Dvali de la Centrul Internațional de Fizică Teoretică din Trieste, au sugerat o modalitate prin care se pot observa la o scală mult mai mare, de o fracțiune de milimetru, efectele gravitației cuantice. Acestea pot surveni în cazul în care gravitația este în mod inherent mult mai puternică decât pare. Majoritatea efectelor acesteia se pot pierde în multiplele dimensiuni din afara sferei noastre de cunoștințe, la care face referire teoria corzilor.

Nu s-a reușit până în prezent măsurarea forței de gravitație dintre obiectele foarte apropiate, deoarece forța electrică mult mai puternică, generată de atomi, o

suprimă. „Nimeni nu știe care este valoarea reală a forței gravitaționale la distanțe reduse”, a comentat Arkani-Hamed. „Avem însă șansa de a strânge dovezi pro sau contra acestor idei în următorii 10 ani”.

Verificarea teoriei prin intermediul experimentelor a constat în a pune în evidență gravitonul, particula mesager a forței de gravitație cuantică. Fizicienii își pun speranțele în realizarea unui nou tip de accelerator, un dispozitiv de coliziune liniară, în jurul anului 2010. Electronii și pozitronii (antielectronii) vor atinge energii uriașe în interiorul a doua aparate lungi și rectilinii, dispuse unul în fața celuilalt ca două pistoale într-un duel.

Coliziunile dintre gloanțele electronice vor crea o multitudine de particule diferite, poate chiar și un număr mare de gravitoni. În calitate de susținător al proiectării unui dispozitiv de coliziune liniară la Hamburg, denumit TESLA, Hans-Ulrich Martyn de la Universitatea Tehnică din Aachen a explicat modul în care acesta ar detecta gravitonii.

„Ivindu-se din ascunzătorile lor multidimensionale, gravitonii s-ar putea atașa într-un număr extraordinar de mare particulelor noastre subatomice, conform teoriei lui Arkani-Hamed, Dimopoulos și Dvali”, a spus Martyn. „Poate chiar 10 milioane de milioane o dată. Apoi, deși fiecare graviton reacționează extrem de slab, acțiunea lor colectivă ar fi suficientă pentru a produce un efect detectabil. Ne vom concentra asupra semnăturii distincte a unei singure raze gama, realizată simultan cu roiul de gravitoni. Dacă o vom găsi, aceasta va deschide calea către domeniul energiilor înalte, în care gravitația cuantică devine parte integrantă a fizicii particulelor.”

● Împotriva curentului

Câțiva teoreticieni au considerat că teoria gravitației cuantice a fost concepută într-un mod eronat. În loc de a supune gravitația teoriei cuantice, de ce nu am considera comportamentul cuantic drept un produs secundar al gravitației? În acest caz, unchiul Albert ar putea avea dreptate, fără a mai fi necesare amendamente ale teoriei sale.

Mark Hadley de la Warwick era un teoretician curajos pregătit să înnoate împotriva curentului. În anii 1996–1997, el a stârnit discuții aprinse cu privire la teoria curbilor temporale închise. „Un mod respectabil de a denumi călătoria în timp”, a spus Hadley despre teoria sa. Călătoria în timp, permisă implicit de relativitatea generală, ar genera efecte aleatoare și nesigure în comportamentul particulelor, similare cu cele ale teoriei cuantice. Hadley a oferit pentru prima dată o explicație a ciudățeniilor și paradoxurilor teoriei cuantice. Până în acel moment, acestea păreau un capriciu al Mamei Natura, calculat cu o mulțime de zecimale, însă fără sens pentru mintea umană.

Oricât de demodat ar fi părut, țelul lui Hadley nu era deloc unul dezonorant. Dimpotrivă, el a continuat pur și simplu ceea ce Einstein însuși încercase fără

succes să realizeze în ultimii 30 de ani ai vieții sale – să facă legătura între discontinuitățile comportamentului particulelor, așa cum se manifestă ele de exemplu la fotoni, și îndrăgitul său continuu spațiu-timp. „Descrierile Naturii sub formă de câmp și particule sunt unificate, așa cum Einstein a sperat și s-a așteptat mereu”, a afirmat Hadley în prezentarea ideilor sale. „Nu există o teorie mai simplă și mai conservatoare care să împacă mecanica cuantică cu relativitatea generală”.

Teoria lui Hadley nu a putut fi combătută, însă în cazul în care aceasta ar fi fost validată, teoria gravitației cuantice ar fi fost desființată, ceea ce ar fi însemnat că mii de colegi de-ai săi și-ar fi pierdut timpul degeaba. În consecință, Hadley a fost evitat precum un bolnav contagios de tifos. Însă teoria sa a rămas valabilă, împreună cu predicția că odată cu descoperirea undelor gravitaționale, care va face spațiu-timpul să tremure ca o gelatină, se va dovedi că acestea nu sunt decât niște simple unde fără niciun element cuantic sub formă de gravitoni.

● Un turn la fel de mare ca Pământul

Experimentatorii și astronomii continuă încă să caute defecte ale teoriei gravitației a lui Einstein, ce ar putea da indicii despre caracterul oricărei noi teorii care ar putea-o înlocui. Însă aceasta rezistă cu încăpățănare după aproape 90 de ani de eforturi de a dovedi că este falsă. Satelitul european Hipparcos a detectat efectele gravitației solare slabe, care devia lumina stelelor provenită chiar și din direcții îndepărtate de Soare. De asemenea, acesta a descoperit că orice eroare a predicțiilor relativității generale era mai mică decât $1/250$. Telescoapele spațiale care investighează găurile negre prin emisiile de raze X din vecinătatea lor au arătat că acestea se comportau conform deducțiilor teoriei lui Einstein.

Din păcate, testele teoriei gravitației s-au dovedit cu mult mai puțin riguroase decât testele teoriei cuantice. O serie de experimente pentru verificarea principiului echivalenței – afirmația crucială că toate obiectele cad cu aceeași viteză – a fost începută de Lorand Eötvös, la Budapesta, în 1889. După un secol de eforturi neîntrerupte, fizicienii au îmbunătățit precizia experimentelor de 10 000 de ori. Apariția zborurilor spațiale a oferit posibilitatea unei îmbunătățiri cu un factor de un milion.

Dacă o altă teorie a gravitației ar înlocui-o pe cea a lui Einstein, principiul echivalenței nu ar putea fi corect cu exactitate. Deși implicit pentru orice elev de liceu care studiază matematica lui Newton, însuși Einstein a considerat principiul echivalenței un mister profund. „Masa se definește prin rezistența pe care un corp o opune accelerării sale (masa inerțială)”, a afirmat Einstein. „Aceasta se măsoară de asemenea prin greutatea corpului (masa gravifică). Însuși faptul că aceste două definiții total diferite conduc la aceeași valoare a masei unui corp este ceva uluitor.”

Francis Everitt de la Stanford a formulat această idee și mai convingător: „Principiul echivalenței este, într-adevăr, cel mai straniu fapt evident din întreaga fizică.

Ați observat că un principiu reprezintă pentru un fizician ceva în care crede cu o convingere totală, dar pe care nu îl înțelege nici în cea mai mică măsură?”

Împreună cu Paul Worden de la Stanford și cu Tim Sumner de la Colegiul Imperial Londra, Everitt s-a străduit, timp de decenii, să coopteze sprijinul agențiilor spațiale pentru a face ceva în direcția aceasta. În cele din urmă, ei au primit undă verde pentru lansarea unui satelit, denumit STEP, pe o orbită în jurul Pământului, în anul 2007. Fiind un proiect realizat prin colaborarea Statelor Unite și a Europei, Satelitul pentru Testarea Principiului Echivalenței (STEP) creează, analogic vorbind, un fel de turn din Pisa de dimensiunea Pământului. Echipamentele sale ultrasensibile vor detecta cele mai mici diferențe între comportamentele a opt mostre de mase din materiale diferite – niobiu, platină-iridiu și beriliu – care cad de mai multe ori dintr-o parte a Pământului în cealaltă, aflându-se la bordul satelitelui.

„Faptul cel mai interesant”, a afirmat Everitt, „este că acest progres ne deschide calea către un nou domeniu teoretic în care avem motive puternice să ne așteptăm la un eșec al principiului echivalenței. O abatere de la acesta ar însemna descoperirea unei noi forțe a Naturii. Pe de altă parte, în cazul în care principiul echivalenței rămâne valabil cu o precizie de unu la un miliard de miliarde, teoreticienii care încearcă să-l depășească pe Einstein vor mai avea mult de lucru”.

● O smucitură suplimentară la bordul navei spațiale

Între timp, s-a ivit pe neașteptate o posibilă eroare în teoria lui Einstein, din direcția constelației Taurus, în care se îndreaptă naveta spațială NASA Pioneer 10, părăsind Sistemul Solar. Aceasta se deplasează cu o viteză puțin mai mică decât în mod normal. S-au mai detectat reduceri inexplicabile de viteză și în cazul altor nave spațiale care zburau în direcție opusă față de Soare.

După 30 de ani de zbor, în urma lansării sale din anul 1972, Pioneer 10 se afla la o distanță de 12 miliarde de kilometri, însă cu 400 000 de kilometri mai puțin decât s-a estimat. Aceasta înseamnă o eroare de aproximativ 1/30 000. Dacă aceasta pare nesemnificativă, amintiți-vă că primul indiciu al unei erori în teoria gravitației a lui Newton l-a constituit descoperirea, în secolul al 19-lea, a rotirii excesive a orbitei celei mai apropiate planete de Soare, Mercur, cu a 30 000-a parte dintr-o rotație într-un secol.

Naveta propulsată în direcția constelației Taurus s-a comportat ca și când ar fi fost atrasă înapoi în direcția Soarelui. Cercetătorii au emis, pe rând, explicații alternative, cum ar fi scurgerile de gaze, radiația termică, gazul interplanetar sau efectele gravitaționale ale planetelor și cometelor. „Am examinat fiecare mecanism și teorie la care ne-am putut gândi și nimic nu funcționează până acum”, a declarat Philip Laing de la Societatea Aerospațială din California. „Dacă efectul este real, va avea un impact puternic asupra cosmologiei și a navigării spațiale.”

Aparenta forță suplimentară este total diferită atât de gravitația lui Einstein, cât și de cea a lui Galileo, deoarece contrazice experimentul imaginar cu Turnul din Pisa. Aceasta acționează diferit asupra materiei. În special efectele sale asupra Pământului sau asupra celorlaltor planete, dacă există, sunt cu mult mai mici decât cele asupra navei spațiale. Abaterile s-ar putea datora diferențelor de excentricitate a orbitelor, de dimensiuni și chiar de viteze de rotație.

Teoreticienii iau în calcul și posibilitatea ca o forță gravitațională slabă să acționeze în mod diferit față de manifestările mai puternice și mai semnificative ale gravitației. Mordechai Milgrom de la Institutul Weizmann din Israel a elaborat o astfel de teorie începând din anii 1980. Efectele cuantice sau cosmologice asupra spațiu-timpului ar putea reduce rezistența la accelerația unui corp, determinând masa inertială a acestuia să fie mai redusă decât masa gravifică.

Citind un reportaj din ziar despre încetinirea navei Pioneer 10, o persoană care nu era om de știință a afirmat: „Poate că se ciocnește de materia neagră”. Cu atâtea schimbări în domeniul fizicii fundamentale și astrofizicii, cine ar putea-o contrazice?

- **Vezi și SUPERCORZILE, GĂURILE NEGRE, UNDELE GRAVITAȚIONALE și ENERGIA NEAGRĂ. Pentru aplicații ale gravitației în geofizică, vezi MIȘCĂRILE PLĂCILOR.**



Fluturile contra buburuză și Efectul Mercur

D ACĂ PLECI DIN PARIS pe drumul spre Chartres, după 25 de kilometri vei ajunge la Institutul de Înalte Studii Științifice din Bures-sur-Yvette. Este situat într-o clădire micuță înconjurată de copaci. Fondat în 1958 ca o modestă imitație a Institutului pentru Studii Avansate de la Princeton, acest institut oferă posibilitatea celor șase renumiți profesori de a se întâlni cu 30 sau mai mulți vizitatori, pentru a analiza concepte noi din matematică și din fizica teoretică. Un fost președinte al institutului, Marcel Boiteux, l-a numit „o mănăstire unde germinează semințe plantate adânc în pământ și se maturizează în propriul ritm”.

O temă frecventă a cercetărilor institutului din Bures au fost fenomenele complexe. În secolul al 21-lea, aceasta se extinde la descrierea modului în care moleculele biologice – acizii nucleici și proteinele – se pliază pentru a îndeplini funcții precise. „Călugării” matematicieni din perioada de început a institutului și-au îndreptat atenția asupra sistemelor fizice și genetice care acționează adesea într-o manieră complexă și imprevizibilă.

Teoria catastrofelor a fost inventată aici în 1968. În cadrul topologiei, ramură a matematicii ce se ocupă cu formele flexibile, René Thom a descoperit o modalitate asemănătoare artei japoneze origami de a reprezenta schimbările bruște dintr-un sistem, cum ar fi ruperea unei grinzi sau răsturnarea unei nave. Astfel, schimbări care erau, din punct de vedere tehnic, catastrofice, puteau deveni benigne, spre exemplu – trecerea bruscă a creierului din starea de somn în starea de veghe. Tipurile de schimbări bruște au devenit mai numeroase, pe măsură ce numărul factorilor care afectează sistemul a crescut. Iar arta japoneză origami era mai drăguță atunci când confecționa cozi de rândunică și pieptărașe.

Colegii lui Thom au fost complet fascinați de această nouă teorie. Printre aceștia se număra și Christopher Zeeman de la Warwick, care a devenit editorul lui Thom. El și alții au început să aplice teoria catastrofelor în nenumărate alte domenii. De la undele de șoc și evoluția speciilor, până la inflația economică și revoluția politică, se părea că toate domeniile din științele sociale și naturale beneficiau de descoperirile acesteia.

Thom însuși a încercat să oprească acest fenomen. „Teoria catastrofelor e moartă”, a afirmat el în 1997. „Imediat ce a devenit evident că teoria nu permitea predicții cantitative, toți cei cu capul pe umeri au hotărât că nu avea valoare.”

Într-o epocă în care proslăvirea propriilor descoperiri era la ordinea zilei, renunțarea lui Thom la teoria sa a însemnat un exemplu stimulator pentru ceilalți. Dar catastrofa care a depășit teoria catastrofelor a oferit o altă lecție. În ansamblul celorlalte științe, matematica arată ca un bazar exotic, plin de lucruri frumoase, dar majoritatea nefolositoare vizitatorilor. Descrierile relațiilor logice dintre entități imaginare creează lumi minunate, care n-au existat și nu vor exista vreodată.

Matematicienii trebuie să găsească un mic set de teoreme ce ar putea descrie lumea reală. În unele cazuri pot trece decenii întregi până când una dintre ele se dovedește a fi folositoare. În acel moment ea devine o bijuterie neprețuită. Cele mai recente exemple sunt descrierile matematice ale particulelor subatomice și ale mișcărilor plăcilor tectonice care duc la apariția cutremurelor.

Pot fi cazuri în care vizitatorul bazarului ia acasă o parte din matematică și descoperă că arată bine în vitrină, dar nu-i este deloc utilă. Acesta a fost eșecul teoriei catastrofei. Origami-ul lui Thom a oferit, fără îndoială, metafore matematice pentru schimbările bruște, dar nu era în stare să le și prevadă.

● Atratori stranii

Când subiectul este însăși predictibilitatea, relația dintre știință și matematică devine și mai subtilă. Următoarea descoperire notabilă a institutului din Bures a apărut în 1971. David Ruelle, un tânăr profesor de origine belgiană, și Floris Takens, profesor la Universitatea din Groningen, Olanda, studiau fenomenele de turbulență. Dacă privești un râu învolburat, vei vedea curenți și vârtejuri ce apar, dispar și revin, dar niciodată identic.

Pentru a înțelege acest comportament deloc previzibil într-un mod abstract, matematic, Ruelle și Takens aveau nevoie de reprezentări vizuale. Nu erau siguri cum arătau, dar aveau deja un nume pentru ele: atratori stranii. Peste câțiva ani, mulți oameni de știință urmau să-i schițeze pe calculator și să creeze o nouă ramură a matematicii, numită teoria haosului.

Ca să înțelegem ce sunt acești atractori și de ce sunt ei stranii, trebuie să ne întoarcem la reprezentările lui Henri Poincaré, cel mai de seamă matematician și fizician teoretician al Franței de la sfârșitul secolului al 19-lea. Dorind să vizualizeze evoluția în timp a unui sistem fără a se pierde în detalii, el a inventat o metodă extrem de simplă.

A desenat un punct în centrul unei coli albe de hârtie. Acesta reprezenta o stare invariabilă. Nu neapărat statică, deoarece Poincaré studia sisteme dinamice, dar stabilă. Ar putea fi, de exemplu, starea unei populații în cadrul căreia natalitatea și mortalitatea sunt perfect echilibrate. Astfel, toate dramele asociate iubirii,

nașterii, bolilor, accidentelor, crimelor și îmbătrânirii sunt condensate într-un singur punct geometric.

Și în jurul lui, ca o pânză goală ce incită orice artist, restul hârtiei reprezintă o imagine abstractă a tuturor variațiilor posibile ale comportamentului sistemului. Poincaré l-a numit spațiul fazelor. Acesta poate fi activat desenând un al doilea punct pe hârtie.

Deoarece nu este în centru, al doilea punct reprezintă o condiție instabilă. Deci nu va rămâne fix, ci se va mișca urmând o linie curbă pe foaia de hârtie. Punctele prin care trece sunt o succesiune de alte stări instabile pe care le parcurge sistemul pe măsură ce trece timpul. În cazul populației, traiectoria pe care o urmează depinde de variațiile ratelor natalității și mortalității.

Luând în considerare generalitatea sistemului dinamic, Poincaré a descoperit că linia curbă se transforma adesea într-o buclă ce își prindea propria coadă și continua în același mod, de jur împrejur. Nu este o buclă propriu-zisă, ci urma matematică a unui sistem complex care s-a stabilizat într-un ciclu repetitiv și continuu. Un procent ridicat al ratei natalității ar putea, teoretic, mări populația până la apariția foametei. Aceasta determină creșterea ratei mortalității și astfel procesul se inversează. Când este suficientă hrană din nou, rata natalității se reface – și tot așa, *ad infinitum*.

De asemenea, Poincaré a descoperit că sistemele ce pornesc din condiții inițiale diferite pot ajunge pe aceeași buclă în spațiul fazelor, ca și când ar fi atrase spre această traiectorie de o preferință latentă în tipul de comportament dinamic. O ipotetică populație ar putea porni de la orice combinație de rate de mortalitate și de natalitate, fie ele scăzute sau crescute, și să ajungă totuși la oscilația menționată. Bucla ce reprezintă un asemenea rezultat privilegiat este numită atractor.

În multe cazuri, atractorul fundamental nu este o buclă, ci punctul central ce reprezintă o stare stabilă. Aceasta ar putea însemna o stare de repaus, ca atunci când, datorită frecării, la un timp după amestecare, mișcarea de rotație a lichidului dintr-o ceașcă de ceai se oprește, sau ar putea fi starea stabilă a unei populații în cadrul căreia ratele natalității și mortalității sunt într-un echilibru perfect. Fie că sunt bucle sau puncte, atractorii lui Poincaré sunt întotdeauna ordonați și se pot face predicții pe baza lor.

Noțiunea de atractor straniu a fost definită de Ruelle și Takens ca un atractor neordonat, care ar putea descrie esența fenomenelor mai greu predictibile sau chiar aparent impredictibile. Separat de ei, un meteorolog american, Edward Lorenz, a desenat deja un atractor straniu în 1963, fără a-i cunoaște denumirea. În reprezentarea lui, acesta semăna cu cifra opt desenată de un copil, deplasând creionul în jurul aceleiași figuri, dar niciodată pe același traseu. Bucla nu era identică la fiecare circuit complet, și nu se putea spune cu exactitate pe unde avea să treacă data următoare.

● Triumful Fluturelui

Când matematicienii au realizat că rezultatele cercetărilor din Franța și din Statele Unite convergeau, au proclamat începutul epocii haosului. Iar atractorul straniu era emblema sa. Ironia sorții este că, de fapt, Poincaré a descoperit noțiunea de haos încă de la sfârșitul anilor 1880, când a constatat cu uimire că mișcările planetelor nu sunt predictibile cu exactitate. Dar pentru că nu a folosit o denumire răsunătoare pentru acest concept, cum este cea de „haos”, și nici nu a desenat vreo reprezentare a atractorilor stranii, subiectul a rămas neexplorat mai mult de 80 de ani, timp în care doar matematicienii ruși i-au acordat atenție.

Haosul, în accepțiunea sa matematică contemporană, a fost astfel denumit de James Yorke de la Princeton, într-o lucrare publicată în 1975. La relansarea subiectului a contribuit și Robert May, tot de la Princeton, care a demonstrat că o ecuație matematică elementară poate genera modele comportamentale extrem de complexe. În același an, la Laboratorul Național Los Alamos din New Mexico, Mitchell Feigenbaum a descoperit un număr magic.

Acesta este δ (delta), 4,669201..., și apare mereu în teoria haosului, la fel cum numărul π (pi) apare în geometria elementară. Variațiile ritmice se pot produce în sisteme haotice pentru ca apoi să capete un ritm de două ori mai alert. Numărul lui Feigenbaum ajută la definirea schimbării de circumstanțe – spre exemplu, viteza unui râu – necesare pentru a provoca tranziția de la un ritm la altul.

Aceasta era dovada existenței unei ordini latente care face diferența între anumite tipuri de comportament haotic și pura întâmplare. „Haosul nu este aleatoriu: este un comportament aparent arbitrar, rezultând din reguli stricte”, explica Ian Stewart de la Warwick. „Haosul este o formă criptică a ordinii.”

În următorii 20 de ani, ideea matematică a haosului a avut impact asupra tuturor ramurilor științei. Era un mod inedit și inteligent de a aborda orice domeniu, de la dinamica fluidelor până la critica literară. Cu toate acestea, subiectul și-a pierdut din strălucire până la sfârșitul secolului.

Proba A, pentru cei care susțineau importanța haosului, a fost vremea. Într-adevăr aceasta a stabilit noua direcție, odată cu descoperirea accidentală a primului atractor straniu, de către Lorenz. Acesta a fost un rezultat secundar al experimentelor sale asupra prognozei meteo realizate de calculator, la începutul anilor 1960. Fiind specialist în fizica atmosferei și având o pregătire matematică solidă de la Institutul de Tehnologie Massachusetts (MIT), Lorenz a folosit o simulare foarte simplă a atmosferei cu ajutorul numerelor și a calculat cu ajutorul computerului schimbările dintr-o rețea de puncte.

A fost uimit să descopere că evoluțiile succesive ce pornesc din același punct duc la prognoze diferite. Lorenz a identificat motivul: punctele de plecare nu erau exact identice. Pentru a lansa un nou calcul, a folosit numere rotunjite, rezultate dintr-un calcul anterior. De exemplu, 654 321 a devenit 654 000. A presupus, în

mod greșit, că asemenea diferențe minore erau neimportante. În definitiv, acestea echivalau cu diferențe de ordinul milimetrilor pe secundă în cazul vitezei vântului.

Acesta era Efectul Fluture. Calculatorul i-a arătat lui Lorenz că o bătaie de aripi a unui fluture din Brazilia poate provoca o tornadă în Texas. O interpretare superficială spune că nu se poate prezice cu exactitate vremea pentru săptămâna viitoare, deoarece nu putem măsura cu destulă precizie mărimile fizice ce descriu vremea zilei de azi. Și chiar dacă ar exista această posibilitate, și dacă toate lepidopterele ar fi izolate, o versiune mai riguroasă a Efectului Fluture ar demonstra că există turbulențe imprevizibile chiar și în cel mai mic norișor, destul cât să producă variații arbitrare de mare amplitudine.

Concluzia tulburătoare era că vremea își face de cap. Este în mod firesc haotică și imprevizibilă. Efectul Fluture a adus o ușurare meteorologilor care încercau să prezică vremea pe termen lung cu ajutorul calculatoarelor primitive ale anilor 1960. „Oricum nu am fi putut să realizăm aceasta, dar acum avem măcar o scuză”, a conchis Lorenz.

● Cine este vinovat?

Efectul Fluture a servit drept țap ispășitor timp de 40 de ani. După o abordare a haosului din perspectiva unei matematici autoritare, majoritatea meteorologilor a ajuns la concluzia că atmosfera este haotică. Chiar și cu ajutorul supercomputerelor anilor 1990, credibilitatea previziunilor meteo se deteriora după câteva zile și de obicei devenea nulă după o săptămână. Părea că nu are niciun rost să se încerce mai mult în această direcție, deoarece haosul îngreua orice posibilitate de a progresa.

Meteorologilor recalcitranti care continuau să ofere predicții pe termen lung, pentru o lună sau mai mult, li se atrăgea atenția că-și irosesc timpul și banii clienților. De exemplu, directorul secției de predicții pe termen lung de la Institutul Meteorologic din Marea Britanie (UK Met Office) a respins public astfel de avertismente venite din partea companiei Weather Action (Starea Vremii) din Londra, care se ghida după variabilitatea solară. „Să te ghidezi după Soare pentru a prezice vremea? Haosul le face incompatibile”, a afirmat Michael Harrison.

Cei care credeau că predicțiile pe termen lung ale vremii pot fi totuși făcute erau exasperați. Viziunea oficială asupra haosului venea în contradicție cu faptul că animalele sunt excelenți prezicători ai vremii. În Anglia, buburuza portocalie *Halysia sedecimguttata*, deși trăiește în copaci, poate alege să petreacă iarna într-o grămadă mai călduroasă de frunze uscate, dacă simte venirea unei ierni mai friguroase. Până și bondarul face alegerea potrivită mult mai des decât ar putea fi justificat de către hazard.

„Nu am nici cea mai vagă idee despre cum fac aceasta, dar de 11 ani de când le urmăresc, nu au dat greș niciodată”, spune Michael Majerus, un specialist în

genetica buburuzelor, de la Cambridge. „Faptul că fac alegeri potrivite este deja semnificativ din punct de vedere statistic.”

În 2001 s-a dovedit că Efectul Fluture a fost exagerat. De data aceasta, au declarat-o cei de la Universitatea Oxford și de la Centrul European de Meteorologie de la Reading. Ei au descoperit că aproape toate erorile de predicție care au fost puse pe seama haosului se datorau de fapt unor deficiențe ale modelelor atmosferice simulate de computere.

„Efectele haosului au condus în cele din urmă la impasul predictibilității, fapt valabil numai pe termen lung”, au raportat David Orrell și colegii săi. „Pe termen scurt predomină eroarea de model.” Acest rezultat al conflictului dintre fluture și buburuză a avut implicații pozitive pentru meteorologie. Însemna că prezicerile pe termen mediu puteau fi îmbunătățite, deși Orrell credea că haosul va avea efect până la urmă.

Aceasta a condus la un sofism. Deoarece nu există o descriere a planetei Pământ în toată complexitatea sa, nu există nici o modalitate de a determina cât de haotică este atmosfera, decât cu ajutorul interpretărilor calculatorului. Toate modelele computerizate ale climei produc fluctuații haotice și inconstante, denumite de către specialiști „variații naturale” datorate haosului. Cu toate astea, unii cercetători au sugerat că deși atmosfera nu este în esență haotică, deficiențele modelelor pot genera aceeași manifestare haotică.

● Complexitate sau doar complicație?

Disputele cu privire la proba A au atras întrebări mai generale în legătură cu aplicabilitatea teoriei haosului. Acestea aveau legătură cu o confuzie generală cu privire la tema în discuție. Confuzia era generată de echivalarea tot mai frecventă dintre haos și complexitate. Ca rezultat, complicația și complexitatea au devenit ușor de confundat.

S-a emis ipoteza, explicită sau implicită, că teoria haosului ar putea reprezenta o metodă de a analiza sistemele complexe – atmosfera, creierul uman sau piața bursieră. În realitate, teoria haosului era aplicabilă doar sistemelor extrem de simple sau, altfel spus, unor versiuni simplificate ale sistemelor complexe. De aici sunt generate modele comportamentale complicate, iar oamenii sunt tentați să spună, de exemplu: „Iată, calculatorul ne arată cât de complicat este acest sistem”.

Un automat cu bile, din cele folosite la jocurile de noroc, este foarte simplu, dar se comportă într-o manieră complicată și imprevizibilă. O navă este o mașinărie mult mai complexă, și totuși răspunde într-un mod simplu și previzibil la comenzile timonierului. Atunci creierul, de exemplu, se aseamănă cu un automat cu bile sau cu o navă?

Teoria haosului din secolul al 20-lea nu a fost capabilă să răspundă la această întrebare, deoarece creierul este de un milion de ori mai complicat decât spectrul

analizelor disponibile. Multe alte sisteme din realitatea înconjurătoare nu se aflau în acest spectru. Rămăneau însă problemele fundamentale cu privire la modul în care complexitatea are tendința de a domina haosul, la fel cum forța de frecare previne abaterea unei nave de la curs atunci când strănută timonierul.

Inițiativa intelectuală a conceptului de haos rămâne în siguranță, adânc înrădăcinată în cercetările planetare ale lui Poincaré și în turbulențele lui Ruelle, ambele aparținând unei ramuri a matematicii numită dinamică neliniară. Aplicațiile practice acoperă un spectru larg, de la reducerea variațiilor haotice ale combustiei din motoare până la invenția unor noi tipuri de calculatoare. Totuși, la 30 de ani de la inventarea conceptului de atractor straniu la Bures, David Ruelle s-a abținut să-și ridice în slăvi realizările.

„Conceptele și metodele de bază ale haosului au devenit accesibile pe scară largă, fiind aplicate cu succes în cazul unor sisteme interesante, relativ simple și precis controlate”, scria el. „Alte încercări, de exemplu aplicațiile în cadrul bursei de valori, nu au dus la rezultate concludente: aici, viziunea noastră asupra dinamicii rămâne inadecvată în ceea ce privește aplicațiile cantitative ale conceptului de haos.”

● Haos pe orbita Pământului

Fantoma lui Poincaré a reapărut când Ruelle a desemnat cel mai spectaculos rezultat al teoriei haosului. Acesta a provenit din reluarea investigațiilor asupra comportamentului haotic al planetelor, după o pauză de 100 de ani. Poincaré fusese provocat să studieze această temă de premiul oferit de regele Suediei, pentru un răspuns la întrebarea: „Este Sistemul Solar stabil?” Răspunsul cel mai recent pe care-l dă teoria haosului este: Nu.

În comparație cu creierul, Sistemul Solar este extrem de simplu, și cu toate acestea nu există o soluție exactă a ecuațiilor care descriu comportamentul a mai mult de două obiecte între care se manifestă forțe de atracție gravitațională. Și aceasta nu datorită unui aparat matematic inadecvat. Nici Mama Natură nu este sigură de răspuns, și de aceea haosul se poate strecura în ecuație. Și cum există viață pe Pământ de 4 miliarde de ani, aceasta arată că instabilitățile nu sunt distrugătoare, însă pot avea efecte notabile asupra obiectelor individuale.

În anii 1990, Jack Wisdom de la Institutul de Tehnologie Massachusetts (MIT) și Jacques Laskar de la Bureau des Longitudes (Biroul Longitudinilor) din Paris au demonstrat comportamentul haotic al planetelor și al corpurilor cerești mai mici. A spune că cei doi Jack au estimat traiectoriile acestora de-a lungul a miliarde de ani ar însemna să le subapreciem modul subtil de a diagnostica haosul. Dar, în linii mari, asta au făcut, lucrând separat și obținând rezultate asemănătoare. Alte echipe de cercetare le-au continuat rezultatele inovatoare.

Corpuri minuscule cum ar fi îndepărtatul Pluto, cometa Halley sau asteroizii au traiectorii evident haotice. Mercur, planeta cea mai apropiată de Soare, are o orbită atât de haotică și de excentrică încât are mare noroc că nu s-a lovit de Venus

sau că nu a fost expulzată din Sistemul Solar. Aceste variante rămân teoretice, deși asemenea evenimente extreme nu vor avea loc probabil nici în miliarde de ani.

În mare parte datorită capriciilor lui Mercur, orbita Pământului are de asemenea o predilecție spre haos, schimbări imprevizibile petrecându-se la un interval de două milioane de ani. Datorită efectului Mercur, haosul afectează clima pe căi indirecte. La standarde astronomice, variațiile mișcării orbitale a Pământului datorate haosului sunt insignifiante, dar consecințele climatice pot fi profunde. Este afectată excentricitatea, abaterea orbitei de la o mișcare circulară.

În prezent distanța de la Pământ la Soare variază de la 5 milioane la 150 de milioane de kilometri, ceea ce este suficient pentru a intensifica radiația Soarelui cu 7 procente în ianuarie față de iulie. Diferența se simte în efecte de sezon, care modifică clima în timpul erelor glaciare pe o perioadă de 20 000 de ani.

În plus, fiind calculabile, schimbările nehaotice din excentricitatea orbitei Pământului pot mări variațiile anuale ale intensității radiației Soarelui de la 7 la 22 de procente. Având loc pe perioade de 100 000 de ani, ele ajută la stabilirea duratei erei glaciare. Aceste variații și altele ce au legătură cu înclinarea axei Pământului constituie efectul Milankovitch, despre care s-a arătat, în anii 1970, că a fost stimulatorul recentelor serii de ere glaciare.

Descoperirea că haosul afectează în mod radical orbita Pământului a fost destul de șocantă. Se pare că excentricitatea se poate uneori mări ajungându-se ca distanța de la Soare să varieze cu 27 de milioane de kilometri între anotimpuri. Aceasta înseamnă că variația anuală a intensității luminii Soarelui poate atinge un uimitor procent de 44 la sută, în comparație cu actualul 7 la sută.

Variațiile haotice ale orbitei Pământului trebuie să fi avut consecințe remarcabile pentru climă. Dar cum haosul nu ne oferă certitudini, nu se poate spune când se va petrece un anumit eveniment sau când s-a mai petrecut. Acum este datoria geologilor să descopere schimbări ale climatului din trecut, petrecute la intervale de câteva milioane de ani, pentru a analiza haosul retrospectiv.

- *Pentru detalii despre sistemele complexe, vezi RITMURILE CEREBRALE. Pentru detalii despre Sistemul Solar și cercetările lui Laskar, vezi PĂMÂNTUL. Pentru efectul Milankovitch, vezi SCHIMBĂRILE CLIMATICE.*



IMAGINI CEREBRALE

Semnificația filmelor în culori vii

D ESENELE ANIMATE cu un individ suprasolicitat mintal, care își răcorește capul cu o pungă de gheață, amintesc de experimentele efectuate la Paris în anii 1870. Antropologul Paul Broca, cel care a descoperit zonele-cheie ale creierului implicate în limbaj, a atașat termometre de scalpurile unor studenți la medicină. Când el le dădea sarcini lingvistice complicate, temperatura la nivelul pielii creștea.

În cazul în care cuiva îi lipsește o bucată din cutia craniană, se poate simți pulsația sângelui prin straturile exterioare ale creierului, în cortexul cerebral unde au loc gândirea și percepția. În anul 1881, după ce a studiat pacienți cu astfel de orificii în craniu, Angelo Mosso de la Torino a remarcat faptul că pulsațiile se pot intensifica în timpul activității mintale. Astfel, se poate monitoriza activitatea creierului prin cantitățile de energie distribuite de sânge către diferitele părți ale sale.

Activitatea cerebrală nu este o metaforă. În cel mai strict sens fizic, creierul consumă mai multă energie atunci când este ocupat decât atunci când nu are activitate. Un biochimist poate observa cum glucoza din sânge arde mai rapid. Atletii sau cei care doresc să slăbească nu au niciun motiv de entuziasm – doar câțiva wați în plus, sau câteva kilocalorii pe oră se pierd în timpul unui joc de șah sau al unui interviu.

După acest preambul realizat de Broca și de Mosso, ideea efortului fizic ca indicator al activității cerebrale a stagnat timp de mulți ani. Chiar și în momentul în care s-a inițiat utilizarea trasorilor radioactivi ca modalitate de măsurare cu precizie a circulației sangvine cerebrale, înșiși cercetătorii au fost sceptici în ceea ce privește valoarea acestora în studiul funcționării creierului. William Landau, de la Institutul Național al Sănătății din Statele Unite (National Institutes of Health – NIH) a afirmat la o întâlnire a neurologilor, în anul 1955: „Este ca și cum am încerca să măsurăm activitatea unei fabrici contorizând consumul de apă și volumul apei reziduale. Aceasta este doar o problemă de instalații.”

Importanța medicală a circulației sangvine nu era pusă la îndoială, fiind posibil ca aceasta să se întrerupă local în cazuri de accidente vasculare cerebrale sau tumori pe creier. Capetele pacienților au fost examinate cu ajutorul razelor X, după ce li s-au administrat în prealabil injecții cu o substanță care făcea ca sângele să devină

opac. Perioada anilor 1960 a cunoscut un moment de cotitură în cercetarea creierului, atunci când David Ingvar de la Lund și Niels Lassen de la Copenhaga au introdus în circulația sangvină o substanță radioactivă – xenon-133.

Cei doi oameni de știință au utilizat o cameră video cu 254 de senzori, fiecare măsurând razele gama emise de xenon într-un centimetru pătrat al cortexului cerebral. Aceasta a generat o imagine pe un ecran TV. Din cei 500 de pacienți examinați inițial cu această metodă, 80 aveau creierul intact și puteau fi folosiți ca subiecți martor cu o activitate cerebrală normală. S-a putut astfel observa cu claritate faptul că la un creier în repaus partea frontală manifesta cea mai intensă activitate. Fluxul sangvin era cu 20–30% mai mare decât valoarea medie.

„Zonele cele mai anterioare ale lobului frontal, ariile prefrontale, sunt responsabile cu planificarea comportamentului în sensul cel mai general”, au notat cercetătorii scandinavi. „Modelul fluxului hiperfrontal în repaus sugerează astfel că în stare conștientă creierul este ocupat cu planificarea și selectarea diferitelor modele comportamentale”.

Modelele fluxului sangvin se modificau imediat ce pacienții deschideau ochii. S-au activat astfel alte regiuni cerebrale. Zgomotele și cuvintele au provocat creșterea debitului sangvin în zonele atribuite auzului și limbajului. Cerința ca un pacient să țină o greutate într-o mână i-a generat acestuia o activitate în regiunile de pe partea opusă a creierului, care realizează controlul senzorial și muscular – din nou după cum era de așteptat. Sarcinile mintale dificile au provocat o creștere cu 10% a debitului sangvin cerebral.

● Scanarea PET și imagistica RMN

Tehnicile împrumutate din fizica nucleară și de la scanerile cu raze X au făcut din vizualizarea creierului o adevărată afacere începând cu anii 1980, odată cu apariția tomografiei cu emisie de pozitroni sau PET. Aceasta utilizează izotopi radioactivi ai atomilor de carbon, de azot și de oxigen care supraviețuiesc doar câteva minute înainte de a emite antielectroni sau pozitroni. Prin urmare, este necesară utilizarea unui ciclotron pentru a fi obținute la fața locului. Moleculele de apă marcate cu atomi de oxigen-15 sunt cele mai indicate pentru studiul circulației sangvine. Marcus Raichle de la Universitatea Washington din St. Louis a demonstrat pentru prima dată această tehnică.

Injectați în fluxul sangvin cerebral, majoritatea atomilor radioactivi eliberează pozitronii în zonele în care sângele este concentrat. Fiecare pozitron reacționează imediat cu un electron obișnuit, rezultând două particule de radiație gama care se deplasează în direcții opuse. Acestea ajung aproape simultan la detectoarele din părțile opuse ale capului.

Prin estimarea exactă a timpului de sosire a radiației gama la un anumit detector dintr-o anumită zonă, un computer poate identifica originea pozitronului. Scanarea rapidă realizată de rețeaua de detectoare din jurul capului are ca rezultat

o imagine tridimensională completă a circulației sangvine cerebrale. Deși proiectate inițial pentru scopuri medicale, scanările PET au aprins imaginația psihologilor experimentaliști. Ca și în cazul cercetărilor inovatoare ale lui Ingvar și Lassen, debitul sângelui s-a adaptat activității cerebrale.

Între timp s-a dezvoltat la scară largă o nouă tehnică de imagistică medicală. Rezonanța magnetică nucleară a fost inventată în anul 1972 de Paul Lauterbur, un chimist de la Stony Brook, New York, și detectează nucleele atomilor de hidrogen din apa existentă în corpul uman. Într-un câmp magnetic intens, acești protoni se rotesc ca niște titirezi, iar dacă sunt stimulați ei emit unde radio cu o frecvență care depinde de intensitatea câmpului magnetic. Datorită variației câmpului magnetic de-a lungul corpului, apa din fiecare zonă va emite unde cu o frecvență diferită.

Apa relativ liberă, precum cea din sânge, emite radiații mai lente decât apa existentă în țesuturile dense. Astfel, imagistica prin rezonanță magnetică diferențiază țesuturile. Spre exemplu, aceasta poate indica cu claritate anatomia internă a creierului la o persoană în viață, însă asemenea imagini sunt oarecum statice.

Detectarea cu claritate a activității cerebrale, cum este cea realizată prin intermediul trasorilor radioactivi, a devenit posibilă în anul 1990, când chimistul Seiji Ogawa de la laboratoarele Bell din New Jersey a observat că anumite caracteristici subtile ale radiației protonilor depind de cantitatea de oxigen existentă în sânge. „S-ar putea crede că dispunem de o metodă de investigare a conștiinței umane”, a afirmat atunci Ogawa. Un avantaj al imagisticii sale funcționale prin rezonanță magnetică era faptul că nu mai trebuiau produși trasori cu viață scurtă. Pe de altă parte, persoana investigată trebuia să se afle neapărat în interiorul câmpului magnetic intens al aparatului RMN.

Psihologii experimentaliști și cercetătorii care studiază creierul s-au trezit în plină industrie cinematografică, asistați de dezvoltarea graficii computerizate. Aceasta le-a permis să dea unei persoane o anumită temă și să observe, în timp real, activitatea diferitelor regiuni cerebrale, ca niște actori care intră pe rând în scenă. Urmărind rezultatele scanărilor PET și ale imagisticii prin rezonanță magnetică funcțională, mulți cercetători și studenți au fost convinși cu ușurință de posibilitatea investigării modului de funcționare a creierului.

Cu toate acestea, producătorii de filme mintale au avut de întâmpinat indiferența altor cercetători neurologi. Începând din secolul al 19-lea, anatomopatologii, neurochirurgii, specialiștii în psihologie medicală și alții identificaseră deja funcțiile diferitelor regiuni ale creierului. Cunoașterea s-a datorat în mare parte investigării pierderii anumitor aptitudini datorită bolilor sau traumatismelor și experimentelor pe animale. De la funcția de planificare specifică lobilor frontali până la cortexul vizual din zona posterioară a creierului, unde se procesează imaginile recepționate de ochi, hărțile cerebrale erau deja destul de cuprinzătoare. Zonele din creier iluminate de filmele circulației sangvine cerebrale confirmau așteptările.

Tocmai pentru că noile imagini erau atât de captivante, era necesară multă precauție în interpretarea semnificației lor. Nici acestea, nici atribuirea mai veche a funcțiilor nu au reușit să explice procesele mintale cu mai multă precizie decât ar explica o imagine din satelit a orașului Washington DC, indicând clădirea Departamentului de Stat și Casa Albă, politica externă a Statelor Unite. Totuși, imaginile circulației sangvine au generat adevărate revelații pentru că au ilustrat funcționarea creierelor vii în timp real, și modificarea răspunsurilor lor în funcție de experiența dobândită. Acestea au dezvăluit, de asemenea, un grad surprinzător de versatilitate, prin faptul că aceeași parte a creierului este implicată în realizarea unor sarcini complet diferite.

● Exemplul orientării

Niciuna dintre doctrinele care au marcat psihologia occidentală la jumătatea secolului al 20-lea, behaviorismul și psihanaliza, nu s-a interesat de modul de funcționare a creierului. La acea vreme, cel mai bun expert în localizarea funcțiilor mintale în țesutul cerebral se afla la Moscova. Acolo, Alexander Luria de la Institutul Bourdenko a pus bazele neuropsihologiei, o știință de la care aveau să pornească mai departe specialiștii în imagistica cerebrală.

În urma celui de-al Doilea Război Mondial, foarte multe cazuri de leziuni cerebrale i-au revenit lui Luria. Unul dintre pacienții săi a fost Lev Zassetsky, ofițer al Armatei Roșii, care fusese împușcat la cap, glonțul pătrunzând pe partea stângă spre spate. Aceasta nu i-a afectat personalitatea, însă i-a alterat parțial vederea și a dus la pierderea capacității de a citi și de a scrie. În momentul în care Luria a descoperit că Zassetsky se mai putea semna fără să se gândească, l-a încurajat să încerce să scrie din nou, utilizând părțile neafectate ale creierului.

În pofida lipsei unor celule nervoase considerate în mod normal esențiale pentru anumite funcții ale limbajului, fostul soldat a reușit, în cele din urmă, să scrie o relatare a vieții sale cuprinzând 3 000 de pagini olografe. În introducere, Zassetsky comenta referitor la suferința celor ca el, care contribuie la descoperirile psihologilor.

„Știu că mulți oameni discută despre spațiul cosmic și despre faptul că Pământul reprezintă doar o particulă infimă din Universul infinit, iar în prezent există planuri serioase de zbor spre planetele cele mai apropiate din Sistemul Solar. Totuși, șuieratul gloanțelor, al șrapnelului, al obuzelor sau bombelor care explodează și zboară prin capul omului, otrăvindu-i și arzându-i creierul, mutilându-i memoria, vederea, auzul, starea de conștiință – toate acestea sunt considerate evenimente firești peste care se trece cu ușurință.

Dar este oare așa? Dacă da, atunci de ce sunt bolnav? De ce nu funcționează memoria mea, de ce nu mi-am recăpătat vederea, de ce aud în mod constant un zgomot în cap și resimt dureri, de ce nu pot înțelege limbajul uman așa cum trebuie? Este cumplit să o iau de la capăt și să redescopăr lumea pe care am

pierdut-o atunci când am fost rănit, să o pun cap la cap din nou, formând din mici fragmente disparate un întreg.”

În acest proces de reînvățare, Zassetsky și-a dezvoltat ceea ce Luria a denumit „o minte artificială”. El era capabil uneori să-și găsească propria modalitate de rezolvare a problemelor, atunci când creierul său degradat nu reușea să le rezolve instantaneu și inconștient. O multitudine de defecte remanente a fost pusă pe seama pierderii unei porțiuni posterioare a lobului parietal, deasupra părții laterale a capului, pe care Luria o credea responsabilă cu relațiile complexe. Aceasta includea înțelegerea propozițiilor lungi, rezolvarea mintală a calculelor aritmetice sau răspunsul la întrebări de genul „fratele tatălui tău și tatăl fratelui tău sunt una și aceeași persoană?”

Zassetsky a avut în continuare dificultăți în ceea ce privește poziția relativă a obiectelor în spațiu – deasupra/dedesubt, stânga/dreapta, față/spate – și cu direcția traseelor. Chiar și desenarea unei hărți sau simpla ei imagine mintală constituia o dificultate pentru el. Hans-Lukas Tauber de la Institutul de Tehnologie Massachusetts (MIT) a relatat povestea unui soldat american care a suferit o leziune similară în Coreea și a rătăcit aproape fără țință pe teritoriul neutru timp de trei zile.

Au existat unele indicii referitoare la posibila amplasare a funcției pe care psihologii o numesc în prezent orientare. Aceasta presupune construirea hărților mintale asociate cu reperele amintite. Până la sfârșitul secolului s-au descoperit mult mai multe informații cu privire la orientare, atât în urma studiilor asupra efectelor leziunilor cerebrale, cât și datorită noilor procedee de imagistică cerebrală.

Experimentele pe animale au deviat aceste cercetări pe o pistă falsă. Acestea au sugerat că o parte internă a creierului, denumită hipocamp, este implicată foarte mult în funcția de orientare. Prin procedee de imagistică cerebrală aplicate unor ființe umane care încercau să se orienteze în labirinturi, Mark D'Esposito și colegii săi de la Universitatea Pennsylvania au reușit să demonstreze că hipocampul nu desfășoară nicio activitate specială în aceste condiții. În schimb, ei au identificat o regiune internă învecinată, denumită girus parahipocampic. De asemenea, ei au observat activitate în alte zone cerebrale, inclusiv regiunea postero-parietală, care fusese afectată în cazul soldatului Zassetsky.

O trăsătură captivantă a imagisticii cerebrale a constituit-o faptul că ea a condus în mod natural spre alte conexiuni care se făceau în timpul activității cerebrale normale. Spre exemplu, în cadrul unei serii de experimente care presupuneau o călătorie imaginară printr-un oraș cu clădiri distincte, echipa din Pennsylvania a descoperit că acțiunea de recunoaștere a unei clădiri-reper utilizează regiuni cerebrale diferite de cele implicate în realizarea mintală a hărții. Recunoașterea reperelor apare în aceeași regiune generală, situată în interiorul creierului înspre partea posterioară, întrebuințată de oameni pentru a recunoaște chipuri, însă nu se realizează prin același grup de celule nervoase.

Strâns legată de funcția de orientare este conștientizarea mișcării care se manifestă, de exemplu, atunci când ne plimbăm printr-un peisaj mirific și observăm obiectele apropiindu-se sau depărtându-se. Karl Friston de la Institutul de Neurologie din Londra a identificat regiunile implicate în această situație. Imaginile cerebrale au indicat influențe reciproce între diferitele părți ale cortexului vizual din partea posterioară a encefalului, care interpretează semnalele vizuale, incluzând zona V5, responsabilă cu aprecierea obiectelor aflate în mișcare. Tot el a observat și legături între răspunsurile din această zonă a mișcării și regiunile parietale posterioare situate la o anumită distanță. Friston a considerat că astfel de interacțiuni cu rază mare de acțiune între diferitele regiuni cerebrale necesitau o abordare mai principală și mai extinsă a creierului, ca sistem dinamic și integrat.

„Aceasta este vechea problemă de a nu vedea pădurea din cauza copacilor”, a comentat Friston. „Concentrarea pe activitățile cerebrale specific regionale împiedică uneori rezolvarea unor probleme mai profunde în ceea ce privește modul de dirijare sau de interacțiune al acestor regiuni. Aceasta este problema integrării funcționale, care transcende creșterile localizate ale debitului sangvin cerebral. Multe dintre răspunsurile bruște și sensibile la context ale circulației sangvine cerebrale pe care le observăm pot fi explicate de o parte a creierului care moderează răspunsurile unei alte părți. Scopul actual al multor teoreticieni este stabilirea unui fundament matematic și conceptual riguros, care să ne permită să înțelegem imaginile dinamicii cerebrale într-un mod mai documentat.”

● Instalația dinamică

Utilizatorii imaginilor cerebrale li se cere să-și amintească faptul că nu pot observa în mod direct acțiunile miliardelor de celule nervoase din creier. În schimb, ei pot vedea o uimitoare mașină hidraulică. Sistemul vascular, alcătuit din artere, vene și capilare, se îmbină cu celulele nervoase și cu conexiunile electrochimice ale acestora, pe care generațiile anterioare de cercetători le-au considerat cele mai importante.

Creierul își adaptează în mod continuu aprovizionarea cu sânge. Într-un mod eficient, însă inexplicabil până în prezent, vasele de sânge iau parte la procesul gândirii. Ele transmit regiunilor cerebrale: „E timpul pentru o împachetare cu gheață”.

Sângele are nevoie de timp pentru a curge, iar rolul sistemului dinamic de instalații de comutator pentru diferite răspunsuri este o chestiune de experiență zilnică. Reacția pur neurală care ne avertizează asupra unui pericol imediat poate dura o cincime de secundă. Deoarece sângele năvălește după câteva secunde, noi primim raportul situației împreună cu teama conștientă și starea de indignare. În felul acesta ni se întipărește în memorie chipul celui alt șofer care ne-a tăiat brusc calea.

„În momentul de față nu cunoaștem încă motivul pentru care circulația sangvină se modifică atât de brusc și sigur în funcție de schimbările ce apar în activitatea

cerebrală, și nici cum sunt orchestrate atât de armonios aceste răspunsuri vasculare”, remarca Marcus Raichle, veritabil deschizător de drumuri în scanarea PET. „Ne-am confruntat cu aceste întrebări mai bine de un secol, fără a le găsi un răspuns complet. Dispunem de instrumente capabile să ne furnizeze revelații fără precedent referitoare la cele mai importante întrebări științifice, medicale și sociale cu care se confruntă umanitatea. A înțelege modul cum funcționează aceste instrumente constituie în mod evident o mare prioritate.”

- Pentru alte abordări ale activității cerebrale, vezi **RITMURILE CEREBRALE**, **CONEXIUNILE CEREBRALE** și **MEMORIA**.

IMORTALITATEA



Ar trebui să ne mulțumim cu 100 de ani?

NU TOATE POVEȘTILE despre monștrii marini imenși sunt invenții. Unele animale marine continuă să crească, oricât de lent, și nu îmbătrânesc vizibil. Dacă ar putea evita să sfârșească în stomacul vreunui răpitor sau din cauza accidentelor ori a bolilor, ar putea deveni într-un fel nemuritoare. Cine știe cât ar crește dacă ar trăi 1 000 de ani?

Un astfel de exemplu sunt homarii. Niciodată nu îmbătrânesc prea mult pentru a fi mâncați. Au un mecanism al nemuririi asemănător cu cel al celulelor canceroase, ce pot fi cultivate în afara corpului la infinit, ca bacteriile sau drojdiile. Celulele care provin din țesuturi umane normale, sănătoase, se pot reproduce timp de câteva zeci de generații în culturi de laborator, iar apoi mor.

Semnul distinctiv al organismelor nemuritoare este o proteină, o enzimă numită telomerază. Aceasta le protejează cromozomii, lanțurile de ADN care conțin mesaje genetice utile pentru crearea noilor celule. La capătul cromozomilor se află un fel de cravate numite telomeri, alcătuite din secvențe scurte de cod genetic ce se repetă la nesfârșit. În mod normal, telomerii se degradează, devenind din ce în ce mai scurți cu fiecare generație, măsurând astfel timpul precum nisipul ce se scurge într-o clepsidră. În cele din urmă, cromozomii nu mai funcționează corespunzător, iar celulele mor. Dar telomeraza poate preveni acest proces prin reînnoirea telomerilor.

În anul 1998, o echipă condusă de Reza Parwaresch de la Universitatea Christian Albrechts din Kiel a studiat procesele biochimice în cazul homarilor americani (*Homarus americanus*). Ei au descoperit că aceștia conțin o mare cantitate de enzimă care conservă cromozomii. „În toate organele homarului a fost detectată o activitate extrem de intensă a telomerazei”, a anunțat echipa de la Kiel. „Am dedus că activarea enzimei este un mecanism înnăscut ce menține pe termen lung capacitatea de reproducere a celulelor și previne îmbătrânirea.”

Același grup de cercetători a descoperit un nivel ridicat de telomerază și la păstrăvul curcubeu (*Oncorhynchus mykiss*). Dar studiul animalelor care îmbătrânesc lent este abia la început. Iar ele mai au să ne învețe anumite lecții, nu doar despre veridicitatea sau neverosimilitatea monștrilor marini, ci și despre mecanismele îmbătrânirii la om și la multe alte animale. Între timp s-au înregistrat progrese remarcabile în urma investigațiilor directe asupra mortalității și nemuririi celulelor vii.

● Limita Hayflick și trenul lui Olovnikov

Cercetările despre îmbătrânire efectuate la jumătatea secolului al 20-lea au fost îndreptate într-o direcție greșită în urma unui articol nefondat al unui om de știință francez, Alexis Carrel. El a afirmat, în 1929, că celulele animale obișnuite cultivate în laborator se regenerează permanent. În 1946 el a pretins că ar fi reușit să mențină în viață celule din inima unui pui de găină timp de 34 ani. Când nimeni altcineva n-a reușit să mențină în viață celule normale pe o perioadă la fel de îndelungată, s-a dat vina pe neglijența cercetătorului sau a vreunui nefericit de laborant. Carrel era laureat al Premiului Nobel, așa că trebuia să fii un om de știință foarte curajos ca să-l poți contrazice.

Leonard Hayflick de la Institutul Wistar din Philadelphia s-a străduit timp de trei ani, din 1958 până în 1961, să-și dea seama ce nu era în regulă cu culturile sale de celule umane. Totul mergea bine până la un punct, se divizau și redivizau până la cel mult câteva zeci de generații, apoi se opreau. Continuau să mai trăiască timp de câteva luni, iar apoi mureau.

Apoi, împreună cu Paul Moorhead, Hayflick a încercat următorul experiment: a adăugat celule feminine tinere unei culturi de celule masculine mai în vârstă. Diferența de sex a făcut ca celulele să fie mai ușor diferențiabile. S-a ajuns la un moment în care toate celulele bătrâne au încetat, simultan, să se mai divizeze, iar cele tinere au continuat acest proces nestingherite. Aceasta demonstra că tehnica folosită nu era greșită, ci doar că celulele erau muritoare. Deși a fost greu pentru specialiști să publice un rezultat atât de eretic, acesta i-a făcut să respire ușurați pe toți cei care aveau culturi de țesuturi în laboratoare.

Durata naturală de viață a celulelor de cultură, până la câteva zeci de diviziuni cel mult, a fost denumită limita Hayflick. Dar unde se afla ceasul sau cronometrul celulelor care decidea că era timpul ca ele să moară? La zece ani după ce Hayflick

și Moorhead au confirmat mortalitatea celulelor tisulare, unui om de știință i-a venit o idee genială în timp ce aștepta trenul într-o stație de metrou din Moscova.

Alexey Olovnikov de la Institutul Sovietic de Fizică Biochimică era preocupat atunci de modul în care lanțurile de ADN din cromozomi își creează propriile copii în momentul în care celula se divizează. I-a venit în minte imaginea unui tren ce era folosit pentru montarea șinelor. Funcționa destul de bine, cu excepția faptului că nu putea fixa șina pe porțiunea pe care se afla în momentul în care începea montarea.

Mecanismul molecular care produce copii ale cromozomilor este la fel, s-a gândit atunci Olovnikov. Era nevoie de un segment de ADN pentru a începe treaba, dar acel segment nu putea fi niciodată inclus în ADN-ul copiat. De fiecare dată când o celulă se divizează, lanțul de ADN devine mai scurt. Partea afectată este telomerul, cravata de la capătul cromozomului.

În anul 1971, Olovnikov a sugerat că degradarea telomerilor ar putea limita numărul de diviziuni ale celulei. Acest proces a fost numit marginotomie – adică îndepărtarea unei bucăți de la margine. Era o idee strălucită, dar confirmarea și actualizarea ei au durat aproape 20 de ani, deoarece segmentele de ADN ce se pierd sunt extrem de mici.

● Ne apropiem de deznodământ

Biochimistul canadian Calvin Harley a studiat cu atenție teoria savantului rus Olovnikov imediat după apariția ei. Dorea să afle de ce îmbătrânesc oamenii și de aceea a început să cultive celule în laborator, la Universitatea McMaster din Ontario, în 1980. La început, Harley nu a găsit niciun mijloc tehnic de a verifica ideea lui Olovnikov. Cu timpul, pas cu pas, s-au găsit astfel de mijloace, începând cu descoperirile făcute în alte locuri, referitoare la viețuitoare foarte diferite de noi, în aparență.

Primul pas în această direcție a fost făcut la Yale pe un organism unicelular, protozoarul *Tetrahymena*, care trăiește în lacuri. Ca și drojdiile, acesta este nemuritor, în sensul că se reproduce la infinit, prin diviziune, iar telomerii săi nu se degradează în maniera prezisă de Olovnikov. În 1978, Elizabeth Blackburn a descoperit că telomerii acestei bacterii sunt alcătuiți din aceleași șase litere ale codului ADN, ce se repetă la nesfârșit.

Al doilea mare pas a fost realizat ulterior, la UC Berkley, de către Blackburn și o doctorandă, Carol Greider. În 1985 cele două au anunțat descoperirea telomerazei ca fiind enzima ce produce telomerii. „Am presupus că telomeraza ar putea compensa duplicarea incompletă a capetelor cromozomilor”, își amintea Greider mai târziu. „Aceasta ar putea explica menținerea lungimii telomerilor la organisme ca *Tetrahymena* și drojdiile.”

Dar care era relevanța telomerilor acestui protozoar în probleme ca îmbătrânirea oamenilor și cancerul? Pasul al treilea a început cu o întâlnire providențială, cu

ocazia vizitei lui Greider la un prieten din Ontario – Bruce Futcher – care făcea cercetări asupra drojdiilor la McMaster. Cum laboratorul lui se învecina cu cel al lui Harley, Carol l-a întâlnit pe acesta și și-au descoperit un interes comun: telomerii. Au discutat despre viitoare experimente pe care le-ar putea face împreună.

În 1998, Greider i-a telefonat lui Harley pentru a-i comunica ultimele noutăți de la laboratorul Cold Spring Harbor din New York, unde lucra împreună cu Futcher. Specialiștii de aici, și alții care lucrau independent la Los Alamos, descoperiseră compoziția telomerilor la vertebrate. La fel ca și la *Tetrahymena*, sunt alcătuiți dintr-o repetare multiplă a celor șase litere din codul ADN. Singura diferență era că secvența TTGGGG a devenit TTAGGG.

Venise deja timpul ca toate echipele să-și unească eforturile și, prin urmare, în 1990, Harley, Futcher și Greider au finalizat pasul al treilea. Ei au publicat o verificare experimentală completă a teoriei lui Olovnikov, într-o formă modernizată. Îmbătrânirea celulei umane apare datorită pierderii unei secvențe TTAGGG dintr-un telomer din fiecare cromozom, de fiecare dată când celula se divizează.

Apoi, Harley și Silvia Bachetti de la McMaster au stabilit legătura dintre activarea telomerazei, menținerea telomerului și cancerul la om. Pe scurt, disponibilitatea telomerazei îi conferă celulei canceroase o nemurire periculoasă, prin evitarea limitei Hayflick. Harley a sugerat, de asemenea, că relația telomer–telomerază era Sfântul Graal îndelung căutat de cercetătorii și medicii preocupați de procesul îmbătrânirii.

„Lungimea telomerului și funcționarea telomerazei par a fi markerii istoriei reproductive și ai potențialului proliferativ al celulelor”, scria el în 1991. „Rămâne o posibilitate șocantă, și anume că pierderea de telomeri este o bombă cu ceas genetică și, deci, causal implicată în îmbătrânirea și imortalitatea celulei.”

Posibilitatea fabricării medicamentelor antiîmbătrânire, mai ales în scop medical sau cosmetic, a atras finanțatori comerciali. Harley s-a alăturat Corporației Geron din California. Cu colegii de acolo și cu alții din Colorado și de la Texas-Dallas, Harley a continuat să consolideze ipoteza telomerilor drept cauză a îmbătrânirii la om. În 1997, el și echipa sa au descoperit gena-cheie care reactivează telomeraza din celule și reîmprospătează telomerii. Aceasta se numește reverstranscriptaza telomerazei umane. Denumirea ei este puțin cam lungă, și ea seamănă foarte mult cu elixirul tinereții la care aspirau anticii și cei din Evul Mediu.

Această descoperire aducea cu ea și un avertisment pentru sănătate. Știut fiind faptul că celulele canceroase folosesc telomeraza pentru a deveni fatal de nemuritoare, se putea bănuși că stimularea reînnoirii celulelor tisulare prin metode artificiale ar putea provoca tumori. Într-adevăr, prima prioritate pentru a putea utiliza informațiile despre telomeri a fost dezvoltarea unor inhibitori ai telomerazei, ca metodă de combatere a cancerului. Totuși, atât la Geron cât și la alte clinici, activarea prudentă a telomerazei părea să ofere noi speranțe pentru tratarea bolilor degenerative.

● Nici Mama Natură n-a ajuns atât de departe

Chiar și fără beneficiile unei științe atât de avansate, oamenii trăiesc mai mult. Contribuția relativă a apei tratate, a igienei generale și a confortului, a vaccinurilor, a antibioticelor, a unei alimentații mai bogate și a unui sistem social mai puțin pâr-tinitor este încă sub semnul întrebării. Și creșterea duratei de viață la om ne-a purtat deja spre un teritoriu necunoscut, despre care și Mama Natură știe foarte puțin. Există câteva teste evoluționiste de calitate a vieții dincolo de punctul în care cea mai tânără odraslă a unei persoane a devenit adult. Unii specialiști consideră că menopauza, care suprimă funcția de reproducere cu mult înainte de moarte, demonstrează importanța rolului bunicilor în supraviețuirea tinerilor. Însă per ansamblu, bătrânii sunt comparabili cu extraterestrii, pentru că rolul lor pe această planetă nu este deocamdată determinat.

După ce s-a stabilit la UC San Francisco, Hayflick a rezumat astfel starea de fapt: „După ce realizează miracolul ce ne duce de la concepție până la naștere și apoi la maturizare, selecția naturală nu este capabilă să favorizeze dezvoltarea unui mecanism mai elementar ce ar putea întreține la infinit aceste minuni. Manifestările acestui eșec poartă numele de îmbătrânire.”

El a insistat asupra faptului că acest proces nu era nici boală, nici dinainte programat și direct controlat de gene. În schimb, Hayflick a compilat diverse informații din biochimie, incluzând și neajunsurile produse de oxigenul reactiv de-a lungul vieții, într-un tablou general al deșeurilor moleculare ce se acumulează în organism. Aceasta se datorează unei pierderi progresive a fidelității copierii genelor și a producerii de proteine.

În 1977 Thomas Kirkwood de la Newcastle a subliniat că încărcarea unui animal cu resurse genetice ce i-ar putea întârzia îmbătrânirea este lipsită de sens, dacă oricum acesta va muri tânăr datorită vicisitudinilor vieții. Există o compensație între vigoarea tinereții și proviziile acumulate pentru perioada de bătrânețe. Oare piloții avioanelor de vânătoare se gândesc la pensie?

Teoria corpului disponibil a fost numele dat de Kirkwood ideii sale, în sprijinul căreia s-au acumulat multe dovezi în anii următori. Speciile longevive sunt mai bine dotate cu o apărare moleculară împotriva oxigenului reactiv decât cele care trăiesc mai puțin. Dacă musculița de oțet (*Drosophila melanogaster*) este împiedicată să se reproducă mult timp după maturizare, se observă o creștere a duratei de fecunditate, dar cu prețul reducerii calității acesteia la o vârstă mai mică. Kirkwood și unul dintre colegii săi au concluzionat că: „Există încă suficiente posibilități de dezvoltare ulterioară și de testare a teoriilor evoluționiste referitoare la îmbătrânire.”

● Cât timp mai avem?

Știința aduce o nouă perspectivă asupra aspirațiilor omului la „tinerețea fără bătrânețe și viața fără de moarte”. În ziua asasinării sale, la venerabila – pe atunci –

vârstă de 55 ani, Iulius Caesar declara, după spusele lui Shakespeare:

*Din toate minunățiile auzite,
Cel mai ciudat mi-e omul ce se teme;
Văzând că moartea, capăt de drum firesc,
Vine când va să vină.*

Bătrânul soldat ar fi uluit de ipohondria secolului al 21-lea. Sfidând bunul-simț și economia medicală, generația cu cea mai mare durată de viață din istorie este obsedată de longevitate.

Deși suprapopularea e considerată o problemă globală majoră, specialiștii în probleme de sănătate susțin că este de datoria noastră să renunțăm la motociclete și la unt ca să putem trăi mai mult. Așa este, deși longevitatea poate aduce totodată dizabilități fizice și mintale atât de grave încât să devină mai costisitoare menținerea unui bătrân în cârje decât hrănirea unui întreg orfelinat din Africa.

În absența unei afecțiuni semnificative, bătrânețea impune o limită naturală duratei de viață a omului. După calculele lui Hayflick, aceasta ar fi în medie de 125 ani. Foarte puțini au trăit mai mult de 75 ani până în secolul al 20-lea. Însă în anul 2000, 75% din populația celor mai bogate țări se încadra deja în această cifră. Îmbătrânirea populațiilor i-a surprins pe statisticieni și pe medici.

Creșterea longevității umane a scăzut în ultimele decenii ale secolului al 20-lea. În țările dezvoltate, speranța de viață la naștere ar putea ajunge la 80–90 de ani până la jumătatea secolului al 21-lea. Deoarece procesul de îmbătrânire accentuează vulnerabilitatea populației la boli și la procese degenerative, prelungirea vieții va necesita medicamente care nu au fost încă descoperite.

Asta nu ar fi neapărat o idee prea bună. Problemele ușor de prevăzut ce ar putea apărea pot fi de la tirani ce refuză să moară și până la dispariția perioadei lipsite de griji a pensiei dacă tinerii salariați ar refuza să mai ducă povara economică a celor în vârstă. Hayflick se întreba dacă „scenariul ideal ar fi o societate a viitorului în care toți oamenii trăiesc până la 100 de ani într-o perfectă stare fizică și mintală, iar apoi mor brusc în urma unui accident vascular cerebral, la miezul nopții”?

► Pentru un subiect asemănător, vezi **MOARTEA CELULELOR**.

IMPACTURILE



Consecințe fizice ale coliziunilor cu comete și asteroizi

PENINSULA YUCATÁN străpunge Golful Mexicului spre nord precum degetul mare al unui autostopist. Nu este străbătută de râuri în sensul obișnuit al cuvântului. În locul acestora, adevărate râuri subterane aprovizionează izvoarele naturale. Puțurile cu apă sunt denumite *cenotes* în spaniolă. Denumirea provine din cuvântul *dzonot*, din limba mayașilor care trăiesc încă acolo, și ai căror strămoși au construit observatorul astronomic, piramidele și templele de la Chichén-Itzá. Numele acelui oraș păstrător al calendarului înseamnă „gura izvorului” și se referă la Cenote Sagrado, un puț de 60 de metri lățime.

Cea mai interesantă caracteristică a puțurilor din Yucatan este poziționarea lor concentrată de-a lungul unui arc de cerc uriaș. Un șanț natural adânc de 5 metri trasează un semicerc aproape complet, care se intersectează cu coasta de nord în puncte aflate la peste 100 de kilometri depărtare și care se curbează adânc, spre centrul peninsulei. Semnificația acestei hidrologii cu totul speciale nu a fost clară până în 1991. Arcul de puțuri urmează marginea unui crater, altfel ascuns vederii sub un kilometru de piatră calcaroasă fără legătură cu acesta.

Craterul Chicxulub, care este îngropat, are o lățime de 170 de kilometri și centrul ușor deplasat în afara țărmului. Este rana provocată Pământului de o cometă de gheață sau de un asteroid de piatră, care a lovit planeta și a dus la dispariția dinozaurilor, a amoniților și a unei lungi liste de alte creaturi căzute victime.

Pentru cei care le-au descoperit – adevărați detectivi, imaginea cea mai satisfăcătoare a fost cea a craterului apărut la suprafață, evidențiată de dispunerea puțurilor. Marginea craterului a ieșit la lumină până la noi, străpungând sute de metri de straturi de rocă depusă deasupra în 65 de milioane de ani. Influențând eroziunea și curgerea apei la suprafață, craterul a oferit civilizației mayașe și Mexicului modern această dispunere specială a rezervelor de apă proaspătă.

Din perspectiva înțelegerii actuale, s-ar putea spune că primul indiciu al existenței craterului ascuns a apărut în 1951, când căutătorii de petrol de la Petróleos Mexicanos au descoperit, în sondele de probă, roci ce fuseseră topite. La acea vreme a fost respinsă ipoteza originii vulcanice a acestor roci. Însă în 1978, Glen Penfield, un geofizician american specialist în foraje petroliere, a descoperit în

timp ce efectua survolări aeriene pentru companie un imens semicerc având magnetismul perturbat, în largul Golfului Mexic.

Ulterior, consultând vechile hărți gravimetrice ale peninsulei Yucatán, Penfield a remarcat un alt semicerc de-a lungul căruia se înregistrau valori anormale ale forței gravitaționale, pe uscat, centrat pe localitatea costală Puerto Chicxulub (pronunțat cic-șu-lub). Acesta se potrivea perfect cu semicercul din largul Golfului, formând o figură circulară mult prea mare pentru un vulcan. În 1981, Penfield și un coleg mexican, Antonio Camargo-Zanoguera, au anunțat descoperirea a ceva ce semăna cu un imens crater de impact îngropat.

Anunțul lor a fost făcut la o reuniune a cercetătorilor geofizicieni, dar nu a fost înregistrat de geologii care căutau tocmai un astfel de crater. Aceștia doreau să facă legătura cu un impact semnalat de argila bogată în metale rare, descoperită în Italia și în Danemarca, și care coincidea exact cu dispariția dinozaurilor din urmă cu 65 de milioane de ani. Pentru a-i convinge pe sceptici și în special pe experții în dinozauri, era urgent nevoie să se descopere un crater imens având aceeași vârstă.

Un doctorand canadian de la Universitatea Arizona, Alan Hildebrand, s-a alăturat acestei căutări. În 1990, el a cercetat unele depozite extraordinare, vechi de 65 de milioane de ani și cu o grosime de 50 de centimetri, dintr-un munte de pe insula Haiti. Acestea conțineau multă materie spartă și topită, de tipul celei produse în urma unui impact. Și aceste depozite fuseseră depuse aici de un gigantic val – un tsunami atât de mare încât impactul nu s-ar fi putut produce la o distanță mai mare de 1 000 de kilometri de acest loc.

Peninsula Yucatán se află la jumătatea acestei distanțe. Aflând despre descoperirea din Haiti, un ziarist de la *Houston Chronicle*, Carlos Byars, a corelat cu rezultatele cercetărilor celor de la Petróleos Mexicanos. El l-a pus pe Hildebrand în legătură cu Penfield, și cei doi cercetători au reexaminat împreună probele colectate de companie din puțurile de foraj.

În timp ce forau la sonda Yucatán 6, în stratul de acum 65 de milioane de ani, aceștia au găsit cuarț conținând linii închise, de un anumit tip, cauzate de o undă de șoc. În 1991, Hildebrand, Penfield și colegii lor, printre care și coordonatorul lui Hildebrand de la Universitatea Arizona, William Boynton, au publicat descoperirea în revista *Geology*. În anii următori, existența craterului îngropat a fost confirmată de mai mulți cercetători care au utilizat tehnici diferite.

Aproximativ 200 000 de metri cubi din scoarța Pământului s-au evaporat, s-au topit sau au fost expulzați în momentul formării craterului. Unul dintre primii astrogeologi, Eugene Shoemaker de la US Geological Survey, a estimat că obiectul care a produs impactul avea 15 kilometri în lățime. Și pentru că nu se știe ca asemenea asteroizi să fi existat în apropierea Pământului, el a concluzionat că a fost un impact cu o cometă.

„Nu este imposibil să fi fost un asteroid”, a spus Shoemaker. „Dar dacă ar fi să pun pariu, aș pune jetoanele pe o cometă. Intuiția îmi spune că vom descoperi că

impactul cu corpuri cerești mari, probabil în special comete, a influențat categoric evoluția vieții.” Aceasta a fost ultima declarație a lui Shoemaker pe această temă. Imediat după ce a fost înregistrată pentru televiziune, în 1997, acesta și-a pierdut viața într-un accident de mașină, în Australia, în timp ce prospecta alte cratere de impact.

● Un inel de aur

Spre deosebire de Lună, care are cratere permanente, Pământul știe să-și vindece rănilile. Fundul oceanului, care acoperă mai mult din suprafața Pământului decât continentele, trebuie să fi suferit numeroase impacturi, dar orice crater de acolo va dispărea complet. Întregul ocean este repavat cel mult la fiecare 200 de milioane de ani, iar vechiul fund oceanic dispare în interiorul planetei. Dacă, pe de altă parte, corpul de impact lovește un continent sau platforma sa continentală acoperită de apă, eventualele depozite vor tinde să acopere craterul. Asta s-a întâmplat la Chicxulub și la Chesapeake Bay, în estul Statelor Unite, unde sedimentele recente ascund un crater de 90 de kilometri, format în urmă cu 35 de milioane de ani.

Acolo unde platformele continentale s-au menținut la înălțime și uscate, mai ales în Australia și în Africa, craterele pot rămâne vizibile la suprafață. În alte părți, eroziunea dezgroapă uneori vechile cratere îngropate, și frecarea cu ghețari de-a lungul erelor glaciare a avut acest efect în zonele nordice. Un crater astfel descoperit se află în Arctica siberiană, la Popigai, având o lățime de 100 de kilometri și o vârstă de 36 de milioane de ani. La Manicouagan, în Quebec, un inel de lacuri, de asemenea lat de 100 de kilometri, conturează un crater format în urma unui impact de acum 214 milioane de ani.

Și în Sudbury, Ontario, există un crater cu o lățime de 250 de kilometri, mai mare decât cel de la Chicxulub, cu o vârstă de 1 850 de milioane de ani. Aici, obiectul care a generat impactul a adus la suprafață, din adâncurile scoarței terestre, roci bogate în nichel și cupru. În prezent, craterul este încercuit de mine, care sunt cele mai prolifiche surse de minereu de nichel din lume.

Având exemple remarcabile la îndemână, Richard Grieve de la Geological Survey of Canada, din Ottawa, a devenit principalul arhivar al craterelor de impact, începând cu anii 1970. Criterii stricte îi disting pe candidați de craterele obișnuite ale vulcanilor stinși. La sfârșitul secolului al 20-lea erau deja peste 150 de cratere pe listă. Pe măsură ce geologii au investigat caracteristicile acestora în detaliu, au descoperit efecte ale impacturilor care le-au scos din uz manualele – de exemplu, cele referitoare la originea depozitelor de aur.

Cel mai vechi și mai mare crater de pe lista lui Grieve se află în Africa de Sud, are centrul la Vredefort, la vest de Johannesburg, și datează de acum 2 023 milioane de ani. Inelul de dealuri numit Domul Vredefort, lat de 70 de kilometri, este o rămășiță a horstului ce apare în centrul unui crater de impact. Craterul avea

inițial un diametru de 300 de kilometri, dar acum este foarte erodat. Mai ușor de remarcat din imaginile satelitare este un semicerc larg de halde de deșeuri provenind de la minele de aur ce înconjoară Domul Vredefort, asemănător semicercului de puțuri din jurul lui Chicxulub.

Craterul coincide cu cele mai mari rezerve de aur ale planetei. Metalul nu provine din spațiu, ci s-a topit din rocile Pământului datorită căldurii impactului. Printre alte reziduuri zburătoare a fost și un jet de aur topit. Finele particule ar fi fost iremediabil împrăștiate dacă nu s-ar fi acumulat în bazinul creat de craterul Vredefort. Dacă aveți un inel, un dinte sau orice alt obiect făcut din aur din Africa de Sud, acesta este o amintire de la un impact cu mult mai mare decât cel care a omorât dinozaurii.

● Comete, stele și cratere

Prin noianul de motive pentru care astronomii studiază cu interes impacturile asupra Pământului, se află și ipoteza apariției ploilor de comete. Teoria spune că o stea care trece prea aproape de Soare poate perturba cometele care locuiesc într-un nor de la periferia Sistemului Solar. Apoi, majoritatea cad direct spre Soare, generând o perioadă propice impacturilor, ce durează câteva milioane de ani. Craterele ce corespund ploilor de comete se găsesc pe Lună, pe Marte și pe Venus, dar și pe Pământ.

Richard Muller de la Laboratorul Lawrence Berkeley din California a propus, în 1984, o variantă provocatoare a acestei ipoteze. El a presupus că Soarele are o stea însoțitoare îndepărtată, numită Nemesis, care se apropie de el cu un an-lumină la fiecare 26 de milioane de ani, provocând astfel ploi de comete la intervale regulate. Însă după două decenii în care nu au apărut dovezi convingătoare ale periodicității impacturilor asupra Pământului, sau vreun semn al existenței presupusei însoțitoare, această idee a expirat, din punctul de vedere al majorității experților.

Ploile de comete ce se produc la intervale neregulate, datorită stelelor căzătoare, au rămas mai credibile. În 1998, Agustin Chicarro și Joe Zender de la Agenția Spațială Europeană au recapitulat vârstele craterelor de impact și au descoperit patru perioade cu cratere având vârste asemănătoare. „Cauza acestor ritmuri”, comentau ei, „poate fi găsită în mecanismele astronomice care declanșează ploi de comete către Soare. Prin datarea precisă a impacturilor, înregistrarea craterelor terestre este unică, oferind o imagine detaliată a istoriei sistemului nostru solar, dar și a mediului său celest în ultimii 600 de milioane de ani.”

Dovezi mai directe în legătură cu ploile de comete sunt cantitățile anormale de heliu într-o formă rară, păstrate în depozitele de pe fundul mării. Heliul-3, provenind din Soare, este adus de firele de praf din cozile cometelor. Particulele care ajung pe Pământ se depun ușor pe suprafața sa, pentru ca în final să ajungă pe fundul mării. O creștere a numărului cometelor ar trebui să se reflecte într-o creștere a cantității de heliu-3.

Cu puțin înainte de a muri, Gene Shoemaker i-a sugerat unui geochimist, Ken Farley de la Caltech, că ar trebui să cerceteze abundența de heliu-3 de acum 36 de milioane de ani. Atunci s-au format craterele de la Chesapeake Bay și de la Popigai. În depozitele de pe fundul mării din acea epocă, în Italia, Farley și colegii săi au descoperit o perioadă de depuneri abundente de heliu-3, care a durat peste 2 milioane de ani, în jurul datei acelor impacturi – exact cum era de așteptat în urma unei ploii de comete. O asemenea creștere a cantității de heliu-3 nu s-a înregistrat în perioada evenimentului de la Chicxulub, în urmă cu 65 de milioane de ani.

Studiul stelelor căzătoare care provoacă ploi de comete continuă, ca parte a sarcinii de a reinterpreta trecutul și viitorul vieții și geologiei pe Pământ, în termeni astronomici. Cartografierea foarte precisă a stelelor și a mișcărilor lor, acum posibilă cu ajutorul sateliților, ar trebui să identifice câteva dintre stelele care au căzut deja. Apoi, timpul calculat al căderilor poate fi comparat cu datele producerii craterelor de impact.

Estimările retrospective mai corecte în această direcție depind de următoarea generație de sateliți de cartografiere a stelelor, în special de satelitul Gaia al Agenției Spațiale Europene, programat pentru lansare în 2012. Însă predecesorul lui Gaia, Hipparcos, a luat-o deja înainte, identificând prima stea care va trece prin apropierea Soarelui. În 1997, o echipă americană a dedus, cu ajutorul datelor înregistrate de Hipparcos, că o stea palidă din Constelația Ophiuchus, Gliese 710, se va apropia periculos de mult. Aflată în prezent la o distanță de 63 de ani-lumină, aceasta se va apropia, într-un milion de ani, cu aproximativ un an-lumină, ajungând probabil suficient de aproape pentru a provoca o nouă ploaie de comete.

● Mică, dar înspăimântătoare

La data de 30 iunie 1908, renii din Siberia au fost masacrați și 2 000 de kilometri pătrați de pădure siberiană au fost spulberați de impactul cu o mică cometă sau cu un mare meteorit, cu un diametru de aproximativ 30–40 de metri. De la o distanță de 600 de kilometri, pasagerii căilor ferate transsiberiene au observat o minge de foc brăzdând cerul, iar corturile nomazilor, deși aflate la o distanță suficient de mare de epicentrul de la Tunguska, au fost distruse în urma exploziei.

Corpul de impact a explodat la zece kilometri deasupra Pământului și, din fericire, forța sa nu a fost mai mare decât a unei bombe cu hidrogen capabilă să spulbere un oraș. Nu a rămas niciun crater, dar copacii din zonă prezentau, în interiorul trunchiului, inele carbonizate ce datau din 1908. În mod evident, radiația termică i-a aprins, iar un suflu întârziat al exploziei a stins apoi flăcările.

Obiectele care produc impacturi pot avea toate mărimile, de la banalele „stele căzătoare” și micii meteoriți care cad în fiecare zi până la evenimente de amploarea celui de la Chicxulub, ce au loc la intervale de 100 de milioane de ani. Cu cât sunt mai mici, cu atât sunt mai frecvente. Câteva impacturi cu asteroizi

având diametre de aproximativ un kilometru pot surveni la intervale de un milion de ani, producând cratere late de 10 kilometri și provocând mutilări regionale, dacă nu globale.

Este uimitoare repetarea evenimentelor de tipul celor de la Tunguska – în fiecare secol sau mileniu, depinzând de statistici. Aceasta înseamnă că ele ar trebui să apară frecvent de-a lungul istoriei și preistoriei omenirii. Un expert în datarea cu ajutorul inelelor copacilor, Mike Baillie de la Universitatea Regală din Belfast, a asociat unele intervale de creștere redusă a copacilor cu erupțiile vulcanice majore, care se pare că au estompat lumina Soarelui în întreaga lume. El a descoperit însă și alte evenimente catastrofice care nu puteau fi corelate cu erupțiile vulcanilor.

De exemplu, între anii 1628 și 1623 î.Hr., copacii din Europa au crescut extrem de puțin, în timp ce California și China au suferit înghețuri neobișnuite. Aceste evenimente au dus la revolte politice în China și Egipt, incluzând probabil și exodul biblic. Baillie nu a considerat o coincidență faptul că prima atestare scrisă a unei comete provine din China acelor vremuri turbulente. El a concluzionat că un fragment de cometă a lovit probabil Pământul în 1628 î.Hr., și a mai observat, în urma analizei inelelor copacilor, și alte calamități asemănătoare, neexplicate, ce au avut loc între anii 3195 î.Hr. și 540 d.Hr..

Poate nu ar trebui să fim chiar atât de neîncrezători în poveștile legendare ale unor apariții neobișnuite pe cer, odată cu producerea catastrofelor. De exemplu, în *Geneză*, se relatează: „Atunci Dumnezeu a slobozit deasupra Sodomei și Gomorei piatră și foc din ceruri; și a distrus aceste orașe, și întreaga câmpie, și tot ce creștea pe pământ”. Să fie aceasta doar o nouă lovitură a unei comete mici, dar fatale?

● Mai sunt multe de aflat

Orașul medieval Nördlingen din Bavaria este faimos pentru clădirile sale strălucitoare. Ele sunt construite dintr-un conglomerat asemănător cimentului, numit suevit, ce conține mici cristale și incluziuni de sticlă. Suevitul provine dintr-un inel de cariere de piatră ce înconjoară orașul, care este situat în centrul craterului de impact Ries, cu un diametru de 25 de kilometri și o vârstă de 15 milioane de ani.

În 1995, cercetătorii de la Open University din Marea Britanie au descoperit diamante în suevitul bavarez. Având dimensiuni minuscule de cel mult o zecime de milimetru, acestea nu au declanșat lăcomia printre locuitorii orașului. Pe de altă parte, experții în științele materialelor au fost fascinați să descopere că diamantele erau însoțite de o carbură de siliciu foarte rigidă, într-o combinație nemaiîntâlnită până acum ca produs de impact.

Studiul impacturilor oferă așadar noi informații despre comportamentul materialelor la presiuni și temperaturi uriașe. Acestea se adaugă descoperirilor făcute de geochimiști și de alți specialiști cu ajutorul utilajelor de mare presiune sau al

explozibililor, care pot produce, de exemplu, diamante artificiale, ca o formă comprimată, cristalină a carbonului. Micile diamante se găsesc adesea printre rămășițele rezultate în urma impactului, însă cercetătorii au învățat să distingă diamantele care existau deja, fie în scoarța terestră, fie în corpul de impact, de cele produse în timpul impactului.

Un alt căutător al diamantelor microscopice de la locurile impacturilor din întreaga lume era Christian Koeberl de la Universitatea din Viena. În craterul rusesc de la Popigai el a descoperit diamante având în interior gheață și dioxid de carbon la o presiune imensă. El a spus: „Acestea și multe alte materiale neobișnuite sunt pentru noi martorii unei forțe de impact aproape imposibil de imaginat de către mintea umană”.

Koeberl a devenit coordonatorul programului lansat de Fundația Europeană pentru Știință în 1998, pentru a clarifica rolul impacturilor asupra istoriei planetei. Agenda proiectului arată cât de profund și complet unește acest subiect toate celelalte științe: cunoștințe de bază de astronomie; efectele fizice și chimice ale impacturilor asupra solului și a mării; degajarea de gaze din carbonații și sulfatii din scoarță; pomparea de energie și de materie în atmosferă, în oceane și în sol; schimbări ale climei regionale și globale; modificări ale diversității speciilor din ecosistem.

Mai sunt încă multe de aflat despre modul în care impacturile distrug ființele vii. Un mecanism posibil este acoperirea temporară a Soarelui de către norii de praf. Explozii, incendii, tsunamiuri, intoxicarea chimică, răcirea și/sau încălzirea climei – toate sunt implicate într-o anumită măsură.

Ar trebui aflate povești ale impacturilor petrecute în trecutul îndepărtat al planetei, pentru a vedea în ce mod a fost afectată străvechea viață microbiană, înainte de evoluția animalelor. Niște mingi stranii, semănând cu rămășițe mult modificate de sticlă, descoperite în Africa de Sud și în vestul Australiei, sunt dovezi ale unor impacturi de acum 3 400 de milioane de ani. Iar oamenii de știință trebuie să estimeze condițiile bombardamentului intens al planetei de către corpurile de impact, în urmă cu 4 000 de milioane de ani, care au pregătit scena pentru toate activitățile geologice ce au urmat.

La începutul secolului al 21-lea, geologia impacturilor începe să ocupe un bine-meritat loc alături de clasicele investigații ale vulcanilor, ale formării munților și minereurilor, precum și de celelalte științe ale Pământului. Ne aflăm încă în faza excitantă a explorării. „Dintre toate craterele de pe suprafața Pământului, presupun că doar 10 la sută au fost descoperite până acum”, a spus Koeberl. „Deci mai avem încă mult de lucru!”

- *Pentru cel mai mare impact dintre toate, care ar fi condus la formarea Lunii, vezi PĂMÂNTUL. Următoarea rată majoră de impacturi din istoria timpurie a planetei este comentată în ORIGINEA VIEȚII. Pentru efecte ale impacturilor asupra vieții ulterioare, vezi EXTINCȚIILE. Pentru o posibilă legătură între impacturi, explozii vulcanice majore și mișcări ale plăcilor tectonice, vezi INUNDAȚIILE*

BAZALTICE. Pentru detalii despre contextul astronomic și supravegherea corpurilor amenințătoare, vezi **COMETELE ȘI ASTEROIZII**.

INUNDAȚIILE BAZALTICE

Ar putea impacturile cu comete să mute continentele?

DRUMUL DE LA MUMBAI SPRE PUNE, sau de la Bombay spre Poona, cum li se spunea în perioada dominației britanice, te poartă prin fortificațiile naturale ale Indiei care sunt munții Ghații de Vest. O astfel de călătorie nu este recomandabilă după căderea întinericului, când căruțele nesemnificate trase de boi și șanțurile și gropile produse în urma torentelor musonice sunt care mai de care mai periculoase.

Terasele naturale formate în urma depunerii succesive de straturi de rocă vulcanică dau acestui povârniș aparența unei scări, de unde și denumirea de „ghat”, care înseamnă „treaptă” în limba hindi. Străjuit de munții abrupti și de secetosul podiș Deccan de dincolo de aceștia, se află teritoriul triunghiular în formă de inimă al peninsulei indiene. Această regiune este neobișnuită din punct de vedere geologic, fiind compusă în principal dintr-un strat de roci bazaltice de culoare neagră, cu o grosime de aproximativ 2 kilometri, întâlnite în mod normal pe fundul oceanului. Preferând utilizarea cuvântului scandinav pentru „trepte”, geologii au denumit aceste terase de bazalt „trape”.

Regiunea teraselor bazaltice din Podișul Deccan care a supraviețuit până astăzi se întinde pe o suprafață de 500 000 de kilometri pătrați, ceea ce reprezintă cu aproximație suprafața Franței. Inițial, suprafața podișului a fost mai mare și mai rotundă. Ne-am putea imagina această regiune ca fiind iadul pe Pământ, în urmă cu 65 de milioane de ani. Cantități inimaginabile de rocă topită au tășnit prin scoarța Pământului, inundând peisajul cu lavă roșie fierbinte și poluând aerul cu praf și cu noxe.

Însă acest fapt nu a reprezentat o catastrofă unică de acest gen. Terasa bazaltice de diferite vârste sunt răspândite pe toate continentele, având la bază binecunoscuta rocă neagră. Podișul Columbia din statele Washington și Oregon din SUA s-a format printr-un eveniment similar în urmă cu 16 milioane de ani. Erupția bazaltică de la Parana din sud-estul Braziliei, produsă în urmă cu 132 de milioane de ani, a avut proporții mai mari decât cele din Podișurile Deccan și Columbia la un loc.

Drept în centrul Rusiei se află terasele bazaltice ale Siberiei. În jurul anului 1990, mai mulți cercetători au confirmat că erupția bazaltică a apărut în această regiune aproape instantaneu, conform standardelor geologice. Astfel, s-a stabilit că procesul formării depozitului cu o grosime de aproximativ 3 500 de metri a început în urmă cu peste 250 de milioane de ani. Acesta nu reprezintă un număr aproximativ. Tehnica utilizată, denumită datare argon-argon, avea o precizie de aproximativ un milion de ani.

Rocile bazaltice formează Platoul Siberian, flancat la est de o serie de lanțuri muntoase de origine diferită. La vest se afla Bazinul Siberian de Vest, produs în urma unui proces de întindere, subțiere și deformare a scoarței continentale. În anii 1990, prospectorii care forau bazinul în căutare de petrol găseau rocă bazaltică la adâncimi mai mari de 2 kilometri.

Geologii de la Leicester au cerut colegilor ruși rocile bazaltice din puțurile vest-siberiene, pentru a le data prin metoda argon-argon într-un laborator scoțian din East Kilbride. Din nou, toate s-au dovedit a avea aceeași vechime de 250 de milioane de ani. Părea că cea mai mare parte a erupției bazaltice provenită de la un singur eveniment s-a depus, dispărând astfel vederii.

Acest fapt însemna că erupția de lavă originală a acoperit o regiune de aproximativ 4 milioane de kilometri pătrați, cam cât jumătate din suprafața Australiei. Viteza și magnitudinea acestui eveniment îi confereau o fascinație funestă. În Islanda, în 1783, o scurgere de numai 12 kilometri cubi de bazalt provocată de o erupție în miniatură a exterminat toată populația ovină, datorită vaporilor de fluoruri, și a produs așa-numita „ceață uscată” la Londra, situată la o distanță de 1 800 de kilometri. În Siberia ar trebui să ne imaginăm așa ceva petrecându-se în mod constant timp de un milion de ani.

Cel mai interesant aspect al evenimentelor din Siberia îl reprezintă faptul că aceste impresionante fenomene vulcanice au coincis precis cu cel mai mare dezastru ce s-a abătut asupra vieții pe Pământ, în epoca animalelor și plantelor uriașe. La sfârșitul perioadei permiane, în urmă cu 250 de milioane de ani, formele de viață de pe planetă au fost aproape de extincție. Un procent de aproximativ 96% din totalitatea speciilor de animale marine a dispărut brusc. De asemenea, în aceeași perioadă au murit și animalele terestre de mari dimensiuni, care erau pe atunci reptile asemănătoare mamiferelor.

„Regiunea extinsă de activitate vulcanică consolidează legătura dintre vulcani și extincția în masă de la sfârșitul permianului”, a afirmat echipa britanico-rusă. Din nou datarea avea o precizie de până la un milion de ani. Și aceasta i-a obligat pe oamenii de știință să răspundă la întrebarea: Ce anume vrea să ne spună această materie neagră?

● O rețea încâlcită

Teoriile și faptele cunoscute despre erupțiile bazaltice au devenit confuze. S-au vehiculat două ipoteze contrare în privința acestora. Potrivit celei dintâi, un curent

de convecție de rocă încinsă și-a croit în mod gradat o cale de ieșire din apropierea nucleului topit al Pământului, prin mantaua terestră. Când acest șuvoi a penetrat scoarța, rocile s-au topit și s-au revărsat în exterior sub formă de lavă bazaltică.

Cea de-a doua ipoteză a avut la bază mecanismul oalei sub presiune. Rocile din stratul inferior al scoarței sunt suficient de încinse pentru a se topi, dacă nu s-ar afla sub presiunea imensă a stratului de rocă de deasupra. E suficient să se fisureze scoarța, indiferent prin ce mijloace, și Pământul „va sângea”. Eliberarea de sub presiune ar permite bazaltului să țâșnească spre suprafață. Acest fenomen se produce frecvent, însă într-o manieră mult mai blândă, în dorsalele medio-oceanice unde plăcile tectonice din litosferă se îndepărtează unele de altele. În urma acestui proces apare bazaltul, care contribuie treptat la continua extindere a fundului oceanic.

Conform ipotezei „oalei sub presiune”, o crăpătură mai mare într-o zonă de minimă rezistență din interiorul unui continent va permite bazaltului să se reverse la suprafață precum sângele în caz de hemoragie. Există peste tot vechi linii de falie, precum și numeroase regiuni în care scoarța Pământului este întinsă și subțiată. Această ipoteză este mult mai flexibilă în ceea ce privește localitățile în care au avut loc asemenea erupții bazaltice. În cazul ipotezei curenților de convecție din mantaua Pământului, este necesară pre existența unui astfel de curent ascendent.

Erupțiile bazaltice prevestesc adeseori separarea continentelor. Atât în estul Statelor Unite cât și în vestul Africii există vestigii de roci bazaltice cu o vechime de 200 de milioane de ani, eliberate în momentul apariției Oceanului Atlantic, în timpul scindării fostului supercontinent Pangeea. Atlanticul de Sud dintre sud-vestul Africii și Brazilia a luat naștere mai târziu, iar precursorul său imediat a fost erupția bazaltică de acum 132 de milioane de ani, descoperită la Parana, în Brazilia.

Sectorul Atlanticului dintre Insulele Britanice și Groenlanda s-a format relativ târziu. Erupția bazaltică precedentă lui s-a produs în urmă cu 60 de milioane de ani. Vestigii renumite ale acesteia se pot observa la Giant's Causeway în Irlanda de Nord și în Peștera lui Fingal (Fingal's Cave) de pe insula Staffa. Cea din urmă l-a inspirat pe Felix Mendelssohn să compună Uvertura Hebridele, ca un tribut involuntar adus particularității fenomenului erupțiilor bazaltice.

În momentul formării teraselor bazaltice din podișul Deccan, cu 65 de milioane de ani în urmă, India era un continent de dimensiuni reduse, independent, care se îndrepta spre o eventuală coliziune cu Asia. Separarea continentală ce a rezultat nu a fost cu nimic mai spectaculoasă decât desprinderea Insulelor Seychelles ca un microcontinent independent. Fie că efectul asupra deplasării plăcilor tectonice din întreaga lume a fost major sau minor, conform teoriei curenților de convecție din mantaua terestră, erupțiile bazaltice au determinat separarea continentelor. Ipoteza „oalei sub presiune” susține însă că o erupție bazaltică reprezintă un simptom al separării continentale, care a survenit din alte motive.

O altă rețea de idei încălcite a avut la bază problema extincțiilor în masă. În anii 1980, oamenii de știință care susțineau că dispariția dinozaurilor s-a produs în urma impactului cu o cometă sau cu un asteroid, în urmă cu 65 de milioane de ani, i-au înfruntat pe biologii caustici și pe geologi, care susțineau că nu este necesar un impact. Dispariția dinozaurilor și a altor numeroase specii de la sfârșitul perioadei cretacice a coincis exact cu marea erupție în urma căreia s-a format podișul Deccan din India. Efectele chimice și climatice ale unui fenomen vulcanic de asemenea proporții, afirmau ei, ar fi suficiente pentru a distruge întreaga viață de pe Pământ.

Această controversă nu a fost soluționată nici chiar odată cu apariția unor dovezi zdrobitoare care au certificat existența unui impact, de exemplu, descoperirea craterului principal în Mexic. În schimb, s-a pus întrebarea dacă aparenta simultaneitate dintre impact și erupție ar fi o simplă coincidență. Sau poate că impactul a declanșat erupția, făcând din aceasta un complice la exterminarea vieții?

● Coincidențe stranii

Specialiștii în științe spațiale au asociat cu ușurință impacturile cu erupțiile bazaltice. Petele mari și negre observabile cu ochiul liber pe suprafața Lunii, denumite mări lunare, reprezintă de fapt regiuni întinse de bazalt din interiorul craterelor de dimensiuni mai mari sau mai mici, produse în urma impacturilor. În anii 1974–1975, nava spațială Mariner 10 de la NASA a survolat de trei ori planeta Mercur, transmițând imagini care sugerau că micuța planetă era, la o primă vedere, similară Lunii.

Cel mai mare crater al planetei Mercur este bazinul Caloris, cu un diametru de 1 500 de kilometri. La polul diametral opus craterului Caloris, o suprafață de teren neobișnuită a atras atenția specialiștilor în științe spațiale. Aceasta avea co-line muntoase nemaiîntâlnite în nicio altă regiune. Echipajul de la bordul navei Mariner 10 a concluzionat că impactul care a determinat formarea bazinului Caloris a generat efecte în lanț. Undele seismice care au zguduit întreaga planetă s-au concentrat la antipodi cu o forță suficient de mare încât să deplaseze munții.

În termeni tereștri, un impact violent în Brazilia ar zdruncina puternic scoarța Pământului din Indonezia, sau un impact la Polul Nord ar avea efecte puternice la Polul Sud. Această acțiune la distanță crește posibilitatea eliberării lavei bazaltice. Impactul originar ar putea avea efecte locale, în special dacă s-ar produce în apropierea unei regiuni de minimă rezistență a scoarței, cum ar fi o veche linie de falie. De asemenea, undele seismice concentrate, undele de șoc survenite în urma impactului, ar putea activa un punct de minimă rezistență aflat de cealaltă parte a planetei.

În ambele cazuri, impactul ar putea determina deriva continentală. Oricât de puternic ar fi, este imposibil ca un corp de impact să determine deplasarea continentelor și a plăcilor tectonice pe o perioadă de milioane de ani. Energia

necesară unei activități tectonice susținute – cutremure, vulcani, coliziuni continentale – provine din radioactivitatea rocilor din interiorul Pământului. Corpurile de impact nu pot face altceva decât să declanșeze astfel de procese. De fapt, ele ar putea decide unde și când are loc scindarea unui continent.

Susținătorii teoriei impacturilor cu comete sau asteroizi ca factori declanșatori ai erupțiilor bazaltice au avut la dispoziție suficiente argumente geografice. Există urme de cratere cu o vechime similară în diferite regiuni, sugerând căderea aproape simultană a unui număr mare de comete sau a unui singur asteroid care s-a descompus înainte de a lovi Pământul. Astfel, ar fi posibil, spre exemplu, ca un impact pe teritoriul Indiei sau pe fundul Oceanului Pacific de la antipodul Indiei, în urmă cu 65 de milioane de ani, să fi determinat formarea teraselor platoului Deccan, fără a avea vreo legătură cu alte cratere, fie ele cunoscute sau care s-ar mai putea descoperi.

În 1984, Michael Rampino și Richard Stothers de la Institutul Goddard pentru Studii Spațiale din cadrul NASA au sugerat în mod explicit că „activitatea tectonică a Pământului este întreruptă periodic, sau cel puțin influențată, de episoade de impact cu comete”.

Mulți dintre geologi și geofizicieni au refuzat această provocare, la fel ca și cercetătorii de fosile și evoluționiști care au respins ideea că extincțiile în masă s-ar datora impacturilor sau erupțiilor bazaltice. În ambele cazuri, aceștia și-au dorit o istorie a Pământului în concordanță cu mecanismele lor preferate, fie acestea mișcările rocilor sau evoluția biologică, în privința cărora s-ar fi putut pronunța în calitate de experți. Ei nu voiau nici invadatori din spațiu, nici „musculoși” din alte ramuri ale științei. Mănușa aruncată de Rampino și Stothers n-a fost ridicată timp de două decenii, decât de câțiva temerari care o culegeau și o mai scuturau de praf din când în când.

Lovitura de grație a venit odată cu noile descoperiri din podișul Siberiei, în special prin rezultatele datării exacte care a confirmat coincidența cu catastrofa ecologică de la sfârșitul perioadei permiane. Nu mai există acum nicio lacună în cronologia evenimentelor, care să le permită specialiștilor în științele Pământului să accepte sau nu legăturile directe dintre evenimente, după bunul lor plac. Sosise clipa în care aceștia trebuiau să se decidă în favoarea sau în defavoarea teoriei potrivit căreia impacturile cosmice reprezentau un factor important atât pentru geologia globală, cât și pentru evoluția vieții.

În 2002, evenimentul petrecut cu 250 de milioane de ani în urmă, la sfârșitul permianului, avea asociate o erupție bazaltică și o extincție în masă, însă îi lipsea un crater corespondent, cu toate că existau numeroase indicii în favoarea unui posibil corp de impact din spațiul extraterestru. Un exemplu mai clar îl constituia fenomenul de la sfârșitul perioadei cretacice, ce avusese loc în urmă cu 65 de milioane de ani, și care coincidea cu o extincție globală, cu o erupție bazaltică în India și cu formarea unui crater în Mexic.

„Pentru unii specialiști în științele Pământului, necesitatea unei teorii unificatoare, plauzibilă din punct de vedere geofizic și capabilă să coreleze toate aceste trei fenomene, este deja evidentă”, a afirmat Paul Renne de la Centrul de Geocronologie Berkeley. „Alții consideră însă dovada coincidenței impacturilor cu principalele extincții ca fiind neconvingătoare, cu excepția celei de la sfârșitul cretacului. Dar puțini ar putea contesta faptul că demonstrarea existenței unui impact este mult mai provocatoare decât atestarea unui fenomen de erupție bazaltică. Ar fi dificil să ascunzi milioane de kilometri cubi de lavă.”

Verdictul nu va fi dat ușor. Andrew Saunders de la Leicester, purtător de cuvânt al echipei care a datat rocile extrase de la mari adâncimi din terasele podișului Siberiei, se număra printre sceptici în privința ideii conform căreia impacturile ar putea genera erupții bazaltice. „Unii oameni de știință susțin că însuși Bazinul Siberian de Vest reprezintă un crater imens format în urma unui impact”, a afirmat Saunders, „dar cu excepția prezenței rocilor bazaltice, acesta arată ca un bazin sedimentar obișnuit. Dacă fisurarea scoarței este singurul fenomen necesar apariției erupțiilor vulcanice, de ce acestea nu apar și în cele mai mari cratere de impact descoperite?”

Această controversă generează între oamenii de știință o dispută serioasă în privința rolului curenților de convecție din manta, care ar oferi o explicație alternativă pentru terasele bazaltice Siberiene. Din acest motiv, verdictul în ceea ce privește impacturile și erupțiile bazaltice va depinde în mare parte de obținerea unor imagini mai bune ale interiorului Pământului, transmise probabil de o nouă generație de sateliți care măsoară variațiile forței gravitaționale de la o regiune la alta. Niciuna dintre cele două ipoteze nu are șanse să câștige teren până în momentul obținerii unor astfel de imagini de la satelitul european GOCE, care urmează să fie lansat în anul 2005¹. Până atunci, se vor căuta în continuare posibile coincidențe între vârstele craterelor și erupțiilor bazaltice.

- *Un subiect geologic strâns legat de acesta, în **ZONELE FIERBINȚI**. Pentru mai multe informații despre impacturi, inclusiv despre descoperirea craterului din Mexic, cu o vechime de 65 de milioane de ani, vezi **IMPACTURILE**. Despre catastrofele ecologice găsiți informații și în capitolul **EXTINCȚIILE**.*

¹ Între timp, data lansării acestui satelit s-a amânat pentru vara anului 2008 (n. red.).



ÎNFLORIREA

Variațiuni colorate pe tema căilor genetice

F LORILE EXPUSE în Grădina Botanică din Valencia, în limba catalană Jardí Botànic, cu o vechime de 200 de ani, se schimbă în funcție de anotimp, așa cum e firesc în zonele temperate. Portocalii din Valencia, mândria coastei de est a Spaniei, înfloresc la începutul primăverii, înconjurați de trandafiri sălbatici, însă în timpul verii, vedetele grădinii sunt zambilele de apă, care înfloresc la umbră. Pe timpul iernii, arbuștii *Arbutus unedo* vă vor atrage cu siguranță atenția.

„Toate plantele înfloritoare par să utilizeze aceleași mecanisme moleculare pentru a regla trecerea bruscă de la creșterea frunzelor la dezvoltarea florilor”, remarca Miguel Blázquez de la Universitatea Politehnică din Valencia. „Aș vrea să cunosc modul de organizare al acestui sistem de autoreglare și cum este corelat cu anotimpurile cele mai potrivite fiecărei specii.”

Timp de 10 000 de ani, problema perioadei de înflorire a plantelor a fost o preocupare practică a fermierilor și horticultorilor. De exemplu, culturile grâului și orzului au fost adaptate mai întâi perioadelor de revărsări ale râurilor din Orientul Mijlociu, însă au necesitat ulterior o readaptare la soarele arzător și la ploile de primăvară europene. Faptul că asemenea schimbări sunt posibile dovedește plasticitatea genetică a comportamentului plantei. Expozițiile florale permanente din unele grădini foarte bine amenajate, precum cea de la Valencia, confirmă faptul că anumite specii și varietăți profită chiar și de perioada iernii, în permanenta competiție dintre plante pentru spațiu și lumină.

În secolul al 20-lea, fiziologii și biochimiștii au efectuat cercetări minuțioase în vederea înțelegerii mecanismelor interne ale vieții plantelor. Acordând o atenție specială micilor cloroplaste verzi din celulele frunzelor, care captează lumina solară și susțin astfel creșterea și viața zilnică a plantelor, li s-au revelat treptat mecanismele moleculare. Fiziologii au descoperit, de asemenea, răspunsuri ale plantelor la forța gravitațională, care se manifestă prin particulele de amidon numite statolite, cu rol de senzori care ghidează semințele să-și dezvolte rădăcinile în jos și tulpinile în sus. Astfel, s-a observat că hormonii de creștere se concentrează în partea întunecoasă, determinând o înclinare a tulpinii în direcția soarelui. Mecanisme similare determină dispunerea optimă a frunzelor astfel încât ele să capteze cât mai multă lumină.

Pentru a ști exact când să înflorească, o plantă posedă senzori de lumină alcătuiți din proteine și pigmenți denumiți fitocromi pentru lumina roșie și criptocromi și fototropine – pentru lumina albastră. Comparând semnalele chimice ale fitocromilor și criptocromilor prin intermediul unui cronometru intern, asemănător celui uman, responsabil de tulburările cauzate de schimbarea fusului orar, planta contorizează orele de întuneric. În consecință, ea va fi capabilă să identifice anotimpul actual după nopțile lungi ale iernii și cele scurte ale verii, sau după variațiile perioadelor de întuneric din celelalte anotimpuri.

Alte sisteme monitorizează temperatura prin producerea substanțelor chimice rezistente la frig, care intră într-un proces de descompunere în condițiile unei creșteri de temperatură. Pentru că a fost descoperit în legătură cu starea latentă a semințelor pe perioada iernii și tranziția spre primăvară, acest mecanism poartă denumirea de vernalizare. Denumirea este asociată cu sistemul molecular pe care îl implică.

Privită dintr-o perspectivă ulterioară, această cercetare este comparabilă cu observarea desfășurării traficului în lipsa oricăror cunoștințe referitoare la dispunerea șoselelor. Fiziologia și biochimia tradiționale nu au reușit să pătrundă în esența misterelor funcționării plantelor. Aceasta se desfășoară sub controlul zilnic al genelor eredității și al proteinelor produse la comanda lor.

● Piatra Rosetta a perioadelor de înflorire

Botanica secolului al 21-lea debutează cu o revoluție, determinată de progresele geneticii plantelor. Acestea au survenit în urma unei cercetări internaționale intensive asupra plantei *Arabidopsis thaliana*, asemănătoare călțunașului. Întregul ei cod genetic – genomul – a fost publicat în anul 2000. Acest fapt a oferit un cadru în care biologii au putut investiga cu mai multă încredere acțiunile genelor care operează împreună sau uneori în opoziție pentru a îndeplini diferite procese din viața plantei.

Înflorirea este unul dintre acestea. Formarea florilor este controlată de o serie de gene denumite gene MADSbox, însă acest proces este relativ simplu în comparație cu decizia pe care trebuie să o ia o plantă, în privința momentului înfloririi. Oamenii de știință au identificat deja aproximativ 40 de gene implicate în determinarea momentului înfloririi. Unificând toate aceste cunoștințe, ei au descoperit un mod de organizare a genelor ce definește patru căi genetice distincte.

Așa-numita cale autonomă susține procesul înfloririi indiferent de anotimp, prin activarea genelor care transformă un mugur de frunză adecvat poziționat într-o floare. Înainte de a intra în acțiune, această cale are nevoie de semnale transmise de alte două căi genetice diferite, care monitorizează condițiile de mediu. Calea corespunzătoare zilelor mai lungi este corelată cu calendarul determinat de senzorii de lumină și de ceasul biologic. Calea vernalizării răspunde unei perioade

îndelungate cu temperaturi scăzute – adică în timpul iernii. Când sunt îndeplinite condițiile, se activează genele căii autonome.

Acest sistem favorizează procesul de înflorire în perioada cu zile lungi a anului, în unul din anotimpurile primăvară, vară sau toamnă. Opțiunea înfloririi pe perioada iernii necesită o a patra cale a genelor, care activează hormonul gibberelină. Acest hormon este capabil să treacă peste semnalele negative transmise de grupele zilelor lungi și de vernalizare și să stimuleze înflorirea plantei. Miguel Blázquez a identificat genele căii giberelinei în timpul colaborării sale cu Detlef Weigel de la Institutul Salk din California.

„Aproape toate cunoștințele noastre despre mecanismele moleculare care controlează perioada de înflorire”, a comentat Blázquez, „au fost acumulate în numai cinci ani de cercetări asupra unei mici plante, arabidopsis. Elementele fundamentale au apărut neașteptat de repede, însă pentru a completa întreaga poveste a înfloririi împreună cu totalitatea opțiunilor și variațiilor posibile, va trebui să muncim încă mulți ani de acum înainte”.

Un sfert de milion de specii de plante înfloritoare iau decizii în medii diferite, de la tropice și până în zona arctică. Fiecare dintre acestea și-a dezvoltat o strategie potrivită pentru o reproducere încununată de succes. Însă o remarcabilă cercetătoare a arabidopsisului din Marea Britanie, Caroline Dean de la Centrul John Innes, considera că investigarea a zeci de genomuri diferite – în funcție de preferințele fiecăruia – nu era cea mai bună metodă de cercetare. O strategie mai bună o constituia însușirea, în primul rând, a cât mai multor cunoștințe despre arabidopsis.

„Dacă vom ști să facem aceasta cum trebuie”, susținea Caroline, „vom reuși să folosim la maxim secvențele de arabidopsis în vederea obținerii de informații biologice care ar putea dezvălui în curând funcționarea internă a mai multor plante diferite și modul lor de dezvoltare”. Ea nu se referea numai la procesul de înflorire, dar acesta era un excelent test pentru metoda sa. La scurt timp, echipa ei a descoperit în genomul arabidopsisului gena VRN 2, care îi permite plantei să-și amintească dacă a mai experimentat sau nu condițiile de frig specifice iernii.

Correspondând cu Gordon Simpson, Dean își pune următoarea întrebare: „Oare modelul conceput pentru arabidopsis va desluși complexitatea controlului perioadei de înflorire la toate celelalte plante, așa cum piatra Rosetta a dezvăluit sensul hieroglifelor egiptene?” În 2002 răspunsul lor era: „probabil”.

În timp ce arabidopsisul ajunge în scurt timp la maturitate și este puternic influențat de creșterea duratei zilelor din perioada primăverii, multe alte plante își utilizează semnalele interne pentru a împiedica procesul de înflorire până când ajung la maturitate. De exemplu, orezul nu înflorește până în momentul descreșterii duratei zilelor, la sfârșitul verii. Semnalele care determină procesul de înflorire diferă în funcție de specie și includ opțiuni de înflorire de urgență precum și de răspândire a semințelor ca răspuns la perioadele de secetă, la

înmulțirea excesivă sau la alți factori de stres. Cu toate acestea, Simpson și Dean considerau că o mare parte a acestei diversități ar putea fi explicată prin variații ale mecanismelor de control observate la arabidopsis, cu schimbări în predominanța diferitelor grupe genetice.

Chiar și arabidopsisul își adaptează controlul perioadelor de înflorire în funcție de perioada de germinație, spre a evita, de exemplu, o înflorire în timpul iernii. Strategia de bază a acestei plante, un obicei anual pe timp de iarnă, implică germinarea în perioada toamnei și înflorirea la sfârșitul primăverii, fiind compatibilă unor regiuni cu veri scurte și capricioase. Însă unele specii de arabidopsis și-au dezvoltat o strategie diferită, denumită ciclu de viață rapid, cu ajutorul căreia planta germinează și înfloarește în același anotimp. Acest fenomen este compatibil condițiilor climatice mai blânde care permit mai multe cicluri de viață într-un an, și de asemenea în regiuni cu ierni foarte aspre.

Simpson și Dean au indicat două mutații diferite descoperite la arabidopsisul sălbatic, care determină dezvoltarea sa în cicluri rapide. Ambele mutații apar în gena denumită FRI și au un efect de stopare a cerinței de vernalizare. „Ciclurile rapide par să se fi dezvoltat independent cel puțin dublu față de precursorii cu înflorire târzie”, au comentat ei.

Acest fapt dovedește că mecanismele de control ale perioadei de înflorire s-au adaptat cu ușurință de-a lungul evoluției plantelor înfloritoare. Dacă variantele de gene implicate sunt cunoscute și la alte specii, se poate observa că ele favorizează sau defavorizează anumite căi ale sistemului de bază al arabidopsisului. Există însă și excepții, iar una dintre ele, procesul de vernalizare la cereale, este o altă poveste.

● Numărătoarea zilelor reci

Numeroase culturi din zonele temperate ale lumii, inclusiv cerealele, constituie varietăți de iarnă. Cu alte cuvinte, ele se seamănă toamna și înfloresc primăvara sau vara. Este esențial ca planta să nu confunde nopțile și zilele egale de toamnă cu cele de primăvară, și astfel să nu înflorească înainte de termen. Mecanismul vernalizării oferă interdicția necesară, impunând ca planta să reziste condițiilor de iarnă înainte de a înflori.

Dar în zonele în care verile sunt scurte este, de asemenea, important ca planta să înflorească exact la începutul primăverii. În aceste regiuni, de obicei iernile sunt relativ aspre, de aceea mecanismul vernalizării trebuie să acționeze și ca un accelerator al procesului de înflorire după trecerea perioadei de iarnă. Experimentele efectuate asupra cerealelor cultivate în condiții controlate ilustrează procesul de vernalizare în acțiune.

Dacă am cultiva orz în timpul iernii, asigurându-i căldură și lumină din belșug, acesta s-ar dezvolta într-un mod neobișnuit. Ar produce în mod continuu frunze, deoarece așteaptă în zadar semnalul obligatoriu care anunță sosirea iernii. Dacă

am expune apoi semințele în curs de germinare unor condiții de frig, timp de o zi, o săptămână sau o lună, iar apoi le-am expune din nou acelorași condiții propice de dezvoltare, semințele expuse cel mai mult timp la frig ar înflori mai repede. Acestea își vor dezvolta mai puține frunze înainte de debutul procesului de înflorire.

„Vernalizarea este un proces remarcabil din punct de vedere cantitativ”, a spus Gordon Simpson. „Acest răspuns informează probabil planta de trecerea iernii, spre deosebire de o singură noapte friguroasă de septembrie. Însă este posibil ca cererea și răspunsul vernalizării să fi evoluat în mod independent și prin intermediul unor mecanisme diferite la specii de plante diferite. Vom înțelege mai bine acest fapt după ce vom analiza genele care controlează vernalizarea la cereale cum ar fi grâul.”

- Pentru mai multe informații despre deja faimoasa specie de plantă, vezi **ARABIDOPSIS**. Pentru alte caracteristici ale vieții plantelor, vezi referințele de la capitolul **PLANTELE**. Mecanisme analoage la animale sunt prezentate în **CEASURILE BIOLOGICE**.



LIMBAJELE

De ce moda în exprimare este lansată de femei

MAJORITATEA ȘTIE PROBABIL FOARTE BINE cum arată Martha's Vineyard, deoarece Steven Spielberg a ales această insulă drept cadru pentru clasicul său film cu rechini intitulat *Fălci*. În vremuri mai bune, mica insulă de lângă Cape Cod, Massachusetts, a fost o bază a vânătorilor de balene yankei, cu cea mai mare fabrică de lumânări produse din ulei de balenă. Apoi Martha's Vineyard a devenit celebră printre specialiști ca loc de desfășurare a revoluției pe care înregistrările pe casete au marcat-o în lingvistică.

Sursa de inspirație pentru aceasta a constituit-o un film mai vechi, *Pygmalion* al lui Anthony Asquith (1938), filmat la Londra și adaptat după piesa lui George Bernard Shaw. Povestea a devenit mai târziu cunoscută publicului larg sub forma muzicalului *My Fair Lady*. Un școlar din New Jersey, William Labov, a fost fascinat de Henry Higgins, profesorul care se sprijinea de o coloană de piatră și nota fiecare sunet rostit de florăreasa Eliza Doolittle.

„Mi s-a părut uimitor”, își amintea Labov ceva mai târziu, „cum putea să facă asta? Acum știu că-și nota doar unele dintre sunetele care îl interesau.” Modelul real pentru profesorul lui Shaw a fost Henry Sweet, un cercetător în domeniul foneticii, care publicase, în 1888, unele conexiuni dintre sociologie și lingvistică pe care Labov avea să le reconfirme și să le continue. Tânărul american avea avantaje majore: electronica, pentru a analiza frecvențele prezente în sunetele vorbirii, un talent personal deosebit de a angaja conversații cu necunoscuți din toate categoriile sociale și, în locul stiloului profesorului, un reportofon.

Labov și-a început cercetările la Martha's Vineyard ca doctorand al Universității Columbia. El a observat la localnici un mod particular de pronunție a cuvintelor *right*, *ice* și *sight*, cu vocala rostită în centrul gurii, cum spunea el, și nu în felul caracteristic al yankeilor din Massachusetts. În 1963 el a raportat că locuitorii insulei și-au schimbat felul de a vorbi.

Conștient sau inconștient, unii locuitori din Martha's Vineyard au adoptat sunetele vocalelor non-standard, preferate de cei câțiva pescari rămași prin zonă, datând probabil din secolul al 18-lea. Nu era o problemă de ignoranță provincială, pentru că unii insulari cu studii universitare pronunțau sunetele vocalelor

dialectului lor local cu o deosebită plăcere. Rezultatul a fost distingerea și mai clară a insularilor stabiliți aici de multă vreme de imigranții portughezi sau de turiștii de sezon.

Labov a continuat cu studiul variațiilor dialectului din New York, inclusiv limbajul bandelor de cartier rivale și diferențele fonetice dintre vânzătorii de la Saks, Macy's și S. Klein – magazine pentru categorii sociale diferite. În cadrul unui proiect magistral desfășurat în Harlem alături de o echipă multirasială, el a arătat că elevii de culoare au o competență verbală mult mai mare decât ar crede profesorii lor sau decât reieșea din progresele lor la citire. Engleza afro-americană vorbită de ei s-a dezvoltat ca o limbă practică și logică de sine stătătoare, potrivită narațiunilor alerte, raționamentului și discuțiilor. În pofida confirmărilor repetate ale rezultatelor lui Labov, sistemele educaționale americane încă subestimează dialectul afro-americanilor.

În 1970 Labov s-a mutat la Universitatea Pennsylvania. În Philadelphia el a observat sunete vocalice care se substituiau unul altuia, între diferite clase sociale și grupări etnice din oraș. El și o echipă tot mai numeroasă de studenți și discipoli au cutreierat prin lume înarmați cu reportofoane, de exemplu în Belfastul strict divizat între catolici și protestanți sau în Papua-Noua Guinee, o țară cu sute de dialecte locale diferite care se străduia să adopte o limbă națională.

Ipoteza de lucru a lui Labov, formulată de el în 1975, a fost că oamenii își schimbă limbajul pentru că acesta este un simbol expresiv al identității locale. „În toate cazurile studiate”, spunea el, „cele mai progresiste modificări ale sunetelor se înregistrează la acele grupuri al căror statut local este amenințat de alte grupuri care vin din exterior. Modificarea sunetelor este o modalitate de reafirmare a identității locale în fața acestor provocări.”

În deceniile următoare, sociolingvistica a dobândit o precizie matematică rareori atinsă în studiul comportamentului social observabil. Se putea măsura gradul și viteza de evoluție a limbajului local. Se putea urmări difuziunea geografică a modificărilor lingvistice în zonele învecinate, precum și adoptarea lor în timp, de la o generație la alta.

O descoperire remarcabilă a constituit-o rolul femeilor în determinarea schimbărilor dialectale. Martha's Vineyard, unde tinerii au generat noua tendință, s-a dovedit a fi o excepție din acest punct de vedere. În cele mai multe cazuri o nouă variantă a sunetelor vorbirii s-a remarcat la femeile ajunse la vârsta maternității, iar apoi la copiii lor. Bărbații în vârstă sunt cei care nu aduc modificări limbajului, sau în orice caz sunt ultimii care fac aceasta.

Nu este niciun mister în ceea ce privește mecanismul, deoarece majoritatea oamenilor învață limba maternă de la mame sau de la femeile care îi cresc. O paralelă forțată între fenomenul modificării limbajului și răspândirea modei în materie de haine sau cosmetice ar putea implica și în primul caz o oarecare excentricitate feminină. Dar, având în vedere legăturile vădite cu forțe sociale

reale, precum și importanța dialectului pentru simțul identității sociale al copiilor și al nepoților, este puțin probabil ca aceste schimbări lingvistice să fie frivole.

După ce Labov și colegii săi au realizat harta schimbărilor lingvistice în *Atlasul Englezei Nord-Americane* (2002), ipoteza de lucru a anilor 1970 a devenit neadevărată. „Se observă o uniformitate uimitoare a schimbărilor fonetice pe arii largi”, a comentat Labov. „Aceasta pune sub semnul întrebării ideea că identitatea locală este forța care le generează.”

Deci ce se petrece în mintea femeilor, astfel încât convertește tendințele socio-economice și politice externe într-o modalitate de a vorbi predilectă sau într-o variație a regulilor gramaticale? De ce, de exemplu, femeile afro-americane descendente ale sclavilor africani sunt conservatoare în ceea ce privește dialectul lor, pe când femeile albe americane își modifică felul de pronunție a vocalelor la fel de des pe cât își schimbă și lungimea fustelor? Și cum operează diferențele de sex și de clasă socială atunci când o limbă străină apare la orizont, adusă de care de luptă sau de corăbii?

Acestea erau câteva dintre întrebările incomode și încă fără răspuns la care au ajuns sociolingviștii la începutul secolului al 21-lea, încercând să unifice rezultatele lor referitoare la dialecte cu strădania colegilor lor de a găsi originile limbilor moderne. Există aproximativ 5 000 de limbi diferite în lumea întreagă, dar nu este deloc clar de ce ar trebui să fie atâtea.

● Gene, limbaje și tehnologii

„*A shprakh iz a diyalekt mit an armey un a flot*”, a afirmat profesorul lui Labov de la Columbia, Uriel Weinreich, vorbitor al dialectului idiș. O limbă este un dialect cu armată și flotă. Această teorie a fost propusă în 1945, când sfârșitul celui de-al Doilea Război Mondial a mutat granițele oficiale ale câtorva limbi, în funcție de tabăra în care se aflau vorbitorii: a învingătorilor sau a învinșilor. Considerată împreună cu perioadele de purificare etnică de dinainte și de după, precum și cu o istorie de 4 000 de ani de imperialism global, experiența din 1945 a lăsat puține îndoieli cu privire la implicarea factorului militar în evoluția limbilor.

În secolul al 19-lea, specialiștii au descoperit afinități importante între tot mai multe limbi vorbite de-a lungul unei imense arii, de la celții din Irlanda până la bengalezii din estul Indiei. Concluzia era că o singură limbă vorbită de un singur trib s-a răspândit într-un fel sau altul în vremurile preistorice și s-a fragmentat în mai multe limbaje derivate, pe măsură ce descendenții s-au împrăștiat în diverse zone. Popoarele ariene, cu limbile lor occidentale, au traversat, se spune, strâmtoarea afgană, conduși de zeul Krishna din carul său triumfal.

Fezabilitatea unor asemenea expansiuni agresive a fost amplu confirmată de istoria recentă. Invazia musulmanilor din Arabia și a mongolilor și turcilor din Asia de Est au fost precursori ale invaziei maritime a celei mai mari părți din lume de către colonizatorii din Europa Occidentală.

Genetica a venit în sprijinul ideii generale că limbile s-au răspândit și s-au modificat odată cu migrarea pașnică sau agresivă a oamenilor. Luca Cavalli-Sforza de la Stanford, împreună cu colegii săi din Italia, au folosit mostre de sânge pentru a realiza harta asemănărilor și a diferențelor dintre presupușii locuitori indigeni din toate colțurile planetei. Acestea s-au dovedit a fi compatibile cu ipoteza originii comune a strămoșilor tuturor persoanelor care trăiesc în prezent.

Presupunând că au pornit de la o limbă comună și cu un set comun de gene, motivul fundamental al diferențelor dintre limbile moderne ar putea fi foarte asemănător cu cel al diferențelor genetice. Aceste diferențieri s-au produs în decursul a zeci de mii de ani. Triburile care au migrat spre Europa, Asia, Australia sau spre continentele americane s-au separat datorită distanței, și astfel nu s-au mai putut împerechea și nici nu au mai vorbit aceeași limbă.

La început, oamenii s-au mutat în regiuni unde nu se vorbea nicio limbă preexistentă a uneia dintre subspeciile noastre. Migrațiile ulterioare i-au amestecat, așa cum s-a întâmplat cu indo-europenii și cu mulți alții. Aceasta a determinat ciocniri între limbile preexistente, având drept efecte de la simple schimburi de cuvinte uzuale, în limbajele improvizate cum sunt pidgin și creola, până la dispariția limbilor preexistente și apariția altora noi.

Limbajele evoluează mai rapid decât genele, făcând dificilă reconstrucția unui arbore genealogic al limbilor diversificate, ale cărui rădăcini să coboare în trecut până la primii vorbitori. Cu toate acestea, aproape fiecare limbă poate fi asociată cu una sau alta dintre cele aproximativ douăsprezece mari familii lingvistice. Cu ajutorul lui Merritt Ruhlen de la Stanford și al altor lingviști, Cavalli-Sforza a început, în 1987, să caute corespondențele dintre marile familii lingvistice și marile familii genetice identificate cu ajutorul probelor de sânge.

Correspondența s-a dovedit a fi impresionantă, iar anomaliile – puține și deloc surprinzătoare. De exemplu, unii asiatici din nord-est au migrat în Tibet. Pentru a ajunge acolo, ei au trecut prin China, și pe drum și-au însușit o limbă mai asemănătoare cu cea din sud-estul Asiei, aparținând familiei sino-tibetane.

Cavalli-Sforza a generalizat de asemenea și legenda despre carele ariene. Curente și contracurente migrării populației, evidențiate în gene și în limbaje, depindeau, înainte de toate, de schimburi culturale datorate inventivității umane, spunea el. „Studiul genetic al evoluției umane a demonstrat cu o mare claritate că succesul genetic al unei populații, atestat prin expansiunea numerică a acesteia pe suprafețe vaste, a fost practic de fiecare dată rezultatul unor inovații tehnologice majore.” Importanța acordată de Cavalli-Sforza puterii care decurge din tehnologizare îi plasează abordarea privitoare la evoluția limbilor la polul opus interesului manifestat de Labov față de dialectele celor mai puțin privilegiați.

● Redescoperirea Turnului Babel

Principalii teoreticieni ai evoluției limbilor au, în tot cazul, alte preocupări. Ei lucrează la o scară geografică intermediară, situată între dialectele lui Labov și

marile familii ale lui Cavalli-Sforza. Acești teoreticieni caută să înțeleagă asemănările și diferențele dintre limbile individuale, la modul propriu – franceza versus germana de-a lungul Rinului, sau distincții similare de aceeași parte a râului, în Noua Guinee. Povestea Turnului Babel descrie pierderea înțelegerii reciproce drept o pedeapsă divină datorită îngâmării oamenilor. Iar lingviștii excavează acum printre ruinele lui.

Fiecare limbă are propriul vocabular și gramatica sa proprie și servește, în fond, aceluiași scop, pretutindeni. Cu toate acestea, există diferențe enorme în ceea ce privește complexitatea gramaticii. Subtilitatea unei limbi pare a nu avea nicio legătură cu statutul său istoric sau geopolitic sau cu modernitatea societății care o utilizează.

Un moment de referință în studiul comparativ al limbilor a fost marcat de publicarea, în 2003, a *Atlasului Mondial al Structurilor Lingvistice*, un proiect la care au colaborat peste 40 de lingviști din lume. Acesta arată distribuția mondială a 120 de caracteristici structurale în aproximativ 200 de limbi. Printre cele mai simple caracteristici structurale sunt categoria sunetelor vocalice, poziția relativă a adjectivului față de substantiv, poziția relativă a subiectului și a complementului față de predicat, numărul de genuri folosite – care poate ajunge până la 20, ca în cazul limbii vest-africane fula.

Hărțile indică două fenomene contradictorii. Unul este faptul că mai multe limbi au în comun caracteristici structurale, pe arii largi de tipul subcontinentelor. Pe de altă parte, limbi excentrice opuse acestei tendințe apar de asemenea în mai multe zone. La ce întrebări profunde referitoare la evoluția limbilor pot aceste hărți să ofere un răspuns?

La începutul secolului al 21-lea fuseseră comparate suficiente limbi, destul de detaliat, pentru a se observa apariția unui indiciu al originii lor comune, cu privire la evoluția limbajelor. Însă nu orice schimbare imaginabilă în domeniul gramaticii și al topicii se produce cu adevărat. În schimb, se observă o repetare a acelorași schimbări, în multe limbi diferite din întreaga lume.

O altă întrebare profundă se referă la motivul pentru care limbile se modifică. Studiile lui Labov asupra dialectelor evidențiază variabilitatea în cadrul aceleiași limbi, dar se opresc înainte de a produce o separare majoră. Două populații de animale asemănătoare încetează să mai facă parte din aceeași specie când nu se mai pot înmulți împreună. Cum și de ce ar trebui să evolueze dialectele până când devin limbi distincte, astfel încât vorbitorii unuia nu se vor mai înțelege cu vorbitorii celuilalt?

Procesul durează cel puțin câteva secole, așa cum reiese din derivarea germanei, a olandezei, a limbii engleze sau a limbilor scandinave din germana ancestrală, vorbită în vremuri străvechi. Unii experți au presupus că ar trebui să existe un avantaj în orice limbă nou formată, care îi favorizează apariția și supraviețuirea. Într-o teorie a necesităților funcționale, noua limbă trebuie să asigure o funcție

inexistentă la predecesora sa. Vorbitorii ei beneficiau în mod practic și se aplica astfel principiul biologic al evoluției prin selecție naturală.

Unii lingviști au pus la îndoială această teorie și nu au văzut nicio explicație logică a faptului că mecanismul evolutiv care produce facultatea limbajului ar trebui să ducă la diversificarea limbilor pământului. S-a făcut o analogie cu dansul. Evoluția biologică asigură membre agile și un simț al ritmului, dar asta nu înseamnă că fiecare dans tradițional ar trebui să treacă printr-un test evolutiv de condiție fizică.

„Mâna care împinge leagănul conduce lumea” este un exemplu de propoziție relativă, care definește subiectul sau complementul unei fraze. Orice jurnalist care scrie titluri de articol știe că propozițiile relative construite greșit pot să-și piardă sensul logic, ca de exemplu: *împinge regulile leagănului*¹. Pentru a proteja integritatea propozițiilor relative se face un troc între concizia riscantă, cum este cazul titlurilor articolelor de ziar, și lungile și pedantele garanții împotriva ambiguității. Limbajele diferă foarte mult în privința precauțiilor pe care vorbitorul se presupune că și le va lua.

Propozițiile relative au constituit mulți ani un punct de atracție pentru Bernard Comrie de la Institutul de Antropologie Evolutivă Max Planck din Leipzig, unul dintre autorii *Atlasului Mondial al Structurilor Lingvistice*. El a găsit exemple de o complexitate ieșită din comun care nu puteau fi explicate în termenii unor avantaje de ordin practic. Acestea păreau mai degrabă să reflecte funcția emblematică a limbii ca simbol al comunității care o folosește. Vorbitorilor le place să folosească structuri șocante, care le scot în evidență limbajul.

„Firește, trebuie să fim de acord cu faptul că facultatea limbajului a evoluat în o manieră biologică”, a spus Comrie. „Dar pentru a înțelege simbolul Turnului Babel trebuie să depășim acest gen de explicație și să căutăm motivele istorice și sociale care au dus la proliferarea și la diversificarea limbilor. Realizarea unei hărți a structurilor limbilor din întreaga lume ne dă șansa unui nou început în această direcție.”

● O știință „față-n față”

Alături de drapel și de echipa națională de fotbal, limba este adeseori o emblemă a identității naționale. Națiunile – triburi cu birorați – rămân principalii artizani ai războaielor. În locul carelor de luptă și al corăbiilor, unele au acum arme nucleare, biologice și chimice. Este nevoie urgentă de orice lămurire pe care lingvistica ar putea să o aducă referitor la rațiunea fundamentală de a fi și iraționalitățile națiunilor. Oamenii au început deja să întrebe: „Ce limbă se vorbește pe Marte?”

Studiul evoluției limbilor rămâne în esență sa cea mai umană dintre toate științele, atât în sensul academic, cât și în cel social al cuvântului. William Labov

¹ Fraza originală este: *The hand that rocks the cradle rules the world*. Dacă se trunchiază „*rocks the cradle rules*”, aceasta se va traduce prin: *împinge regulile leagănului*. (n. trad.)

de la Universitatea Pennsylvania și-a avertizat studenții asupra pericolului de a deveni atât de captivați de analiza teoretică și de tehnologie, încât să uite de problemele umane implicate în utilizarea unei limbi.

„Emoția și aventura în acest domeniu”, mărturisea el, „provin din întâlnirile cu vorbitorii, față în față, intrând în casele lor, așteptând pe la colțuri, terase, taverna, baruri și cârciumi. Îmi amintesc că odată, un puști de 14 ani din Albuquerque mi-a spus: «Stai să văd dacă am înțeles. Slujba ta este să mergi oriunde în lume, să vorbești cu oricine despre orice vrei?» «Da», i-am răspuns. Iar el mi-a spus: «Vreau și eu o slujbă ca asta!»”

- Pentru alte subiecte corelate cu limbajele, vezi **VORBIREA** și **GRAMATICA**. Pentru corelațiile genetice ale răspândirii oamenilor, vezi **GENELE PREISTORICE**. Referitor la comportamentele sociale, vezi **ALTRUIZMUL** și **AGRESIVITATEA**.

LUMINA PĂMÂNTULUI



Norii strălucitori anunță schimbarea climei
și poate chiar o determină

P RINTRE NUMEROASELE INTUIȚII ȘTIINȚIFICE ale lui Leonardo Da Vinci care au trecut testul timpului de jumătate de mileniu este și ideea sa că Luna ar fi iluminată atât de către Soare, cât și de către Pământ. În felul acesta el explica strălucirea slabă vizibilă din partea întunecată a Lunii în creștere.

„Unii au crezut că Luna are lumină proprie”, nota artistul cu scrisul său specific, în oglindă, „dar această părere este falsă, pentru că se bazează pe licărirea vizibilă la mijloc, între coarnele Lunii Noi”. Prin diagrame clare ilustrând pozițiile relative ale Soarelui, Pământului și Lunii, Leonardo a demonstrat că planeta noastră „joacă același rol pentru partea întunecată a Lunii pe care îl joacă Luna Plină pentru noi”.

Eruditul enciclopedist florentin s-a înșelat într-o singură privință. Impresionat de strălucirea mării occidentale la apusul Soarelui, el a crezut că lumina emisă de Pământ și care ajunge la Lună provenea în special de la lumina Soarelui reflectată în spațiu de oceanele Pământului. De fapt, văzute din spațiu, oceanele arată destul de întunecate. Mult mai strălucitoare sunt părțile superioare ale norilor, fapt binecunoscut celor care călătoresc cu avionul, dar pe care Leonardo nu-l știa.

Dacă am putea sta pe partea întunecată a Lunii și am privi „Pământul Plin”, acesta ne-ar oferi o viziune splendidă, de aproape patru ori mai mare decât Luna Plină văzută de pe Pământ și de 50 de ori mai luminoasă. Întreaga parte a Pământului orientată către Lună contribuie la iluminarea fiecărui petic de suprafață selenară, cu o intensitate diferită. Gheața, zăpada, deșerturile și praful din aer apar strălucitoare. Unghiurile de iluminare Soare-Pământ-Lună joacă un rol important, astfel încât cea mai mare strălucire o are ghirlanda vârfulor norilor de la tropice.

Din poziția noastră avantajoasă de pe Lună am putea vedea Pământul învârtindu-se, ceea ce e o plăcere de care nu au parte privitorii Lunii, care văd întotdeauna o singură față a ei. În anotimpul musonic, Asia de Est și cea de Sud sunt acoperite de nori denși de ploaie. Când se luminează de ziuă la Shanghai, iar Asia trece de la noapte la zi, lumina Pământului poate crește cu până la zece procente de la o oră la alta.

În secolul al 21-lea, o rețea de stații meteo din California, China, Crimeea și din Tenerife este programată să măsoare zilnic luminozitatea Pământului descoperită de Leonardo, în scopul monitorizării modificărilor climatice de pe planeta noastră. Astronomii pot detecta mici variații ale strălucirii Pământului. Acestea sunt direct corelate cu răcirea sau încălzirea planetei, fiindcă cele circa 30 de procente din lumina solară pe care le reflectă Pământul nu contribuie la încălzirea sa. Raportul dintre intensitatea radiației reflectate și intensitatea radiației incidente se numește albedo și, cu cât Pământul este mai strălucitor, cu atât el va fi mai rece.

În plus, variațiile observate pe partea întunecată a Lunii au loc mai ales datorită variațiilor nebulozității totale a Pământului. Sateliții meteo observă norii, în fiecare regiune, iar cercetătorii de la NASA combină cu meticulozitate datele transmise de sateliții din întreaga lume pentru a alcătui, în fiecare lună, hărți globale ale nebulozității. Dar dacă ești interesat de întreaga pătură de nori, este mai ușor, mai ieftin și mai sigur să privești Luna. În felul acesta poți testa teoriile referitoare la cauzele modificărilor păturii de nori.

● Francezii cei „teribil de deștepți”

Un pionier al măsurării strălucirii Pământului, începând din 1925, a fost André-Louis Danjon de la Observatorul din Strasbourg, cel care a devenit ulterior directorul Observatorului din Paris. Danjon a folosit o prismă pentru a alătura două imagini simultane ale Lunii. Cu o diafragmă ca a unui aparat de fotografiat, a estompat una dintre imagini până când un eșantion ales din partea luminată de Soare a acesteia a devenit la fel de strălucitor ca un eșantion din partea luminată de Pământ a celeilalte. După dimensiunea diaframei necesare, el a putut aprecia că intensitatea luminii Pământului era doar 1/5 000 din intensitatea luminii Soarelui.

Danjon a descoperit că această intensitate varia mult, de la oră la oră, de la anotimp la anotimp, de la an la an. Studentul său J. E. Dubois a folosit această tehnică în observațiile sistematice realizate în perioada anilor 1940–1960 și a emis ipoteza că variațiile intensității luminii Pământului erau corelate cu activitatea Soarelui în

cadrul ciclului de 11 ani al petelor solare, maximul intensității luminii Pământului corespunzând unui minim de pete solare. Măsurătorile nu erau însă destul de precise pentru a deduce concluzii categorice în această privință.

„Îți dai seama că acești tipi erau teribil de deștepți”, a spus Steven Koonin de la Caltech, în 1994. „Ei nu aveau o tehnologie avansată, dar au găsit modalități de a se descurca fără ea.” Koonin era un specialist în fizică nucleară care a devenit interesat de fenomenul încălzirii globale și a observat că, datorită strălucirii Pământului, Luna putea fi utilizată drept oglindă a cerului, pentru a monitoriza variațiile climei. El a reexaminat teoriile francezilor pentru a interpreta rezultatele obținute și le-a îmbunătățit.

Instrumentul lui Danjon a fost reconstruit la Universitatea Arizona, dar Koonin dorea să folosească detectoare electronice de lumină pentru a obține rezultate cât mai precise. El i-a convins pe astronomii de la Observatorul Solar Big Bear de la Caltech să înceapă măsurarea strălucirii Pământului în 1993. Iar în 2000, Philip Goode de la Big Bear a putut raporta la o conferință despre climă, ce a avut loc în Tenerife, că strălucirea Pământului în anul respectiv fusese cam cu două procente mai slabă decât în perioada 1994–1995.

Cum nimic altceva nu se schimbase radical pentru a afecta strălucirea Pământului atât de mult, probabil că era vorba despre reducerea păturii de nori. Goode a oferit două explicații posibile. Una se referea la ciclul fenomenului El Niño, care afectează temperatura apei din estul Oceanului Pacific, ce a atins valoarea minimă în 1994 și maximă în 1998. Se presupunea că acesta afectase pătura de nori.

Cealaltă explicație relua ideea lui Dubois, a unei posibile legături cu comportamentul ciclic al Soarelui. Activitatea acestuia a fost aproape de minim în 1994–1995, judecând după petele solare, și a atins un maxim în 2000. Goode a declarat, referindu-se la o idee daneză: „Rezultatul nostru este conform ipotezei bazate pe informațiile despre pătura de nori, că albedoul Pământului descrește pe măsură ce activitatea solară se intensifică.”

● Nori și raze cosmice

Cu două secole înainte, în timp ce citea raportul economistului Adam Smith intitulat *The Wealth of Nations* (*Bunăstarea națiunilor*), celebrul astronom William Herschel de la Slough a remarcat că datele la care se înregistraseră cele mai mari prețuri ale grâului în Anglia erau, de asemenea, date când el știa că nu erau pete negre pe strălucitoarea față a Soarelui. „E posibil”, scria Herschel în 1801, „să apară o lipsă sau un deficit temporar al vegetației atunci când Soarele nu prezenta acele caracteristici despre care presupunem că sunt simptomele unei abundente emanații de lumină și căldură”.

Ulterior, variațiile solare au fost privite drept o posibilă explicație a succesiunii continue de răcirii sau încălziri ale Pământului, de la un deceniu la altul și de la

un secol la altul, așa cum apar în istoria climei de la sfârșitul ultimei ere glaciare. Și ele încă sunt văzute astfel. Totuși, timp de câțiva ani, la începutul anilor 1990, nu s-a găsit nicio explicație satisfăcătoare a modului în care Soarele ar putea exercita o influență semnificativă asupra climei.

Presupunerea obișnuită era, conform lui Herschel, că variațiile intensității medii a radiației solare ar putea fi responsabile de schimbările climatice. Măsurarea exactă a intensității luminii Soarelui a deveni posibilă doar cu instrumentele de pe sateliți, iar în 1990 aceste măsurări au acoperit un ciclu solar complet, de la un maxim de pete solare la minimul acestora și apoi iar la maxim. Herschel a avut dreptate când a considerat că Soarele în plină activitate, cel cu mai multe pete, era cel mai strălucitor, dar variațiile măsurate ale intensității radiațiilor solare păreau mult prea mici pentru a justifica schimbări majore ale climei.

În perioada anilor 1990 s-au propus și alte mecanisme prin care Soarele ar putea exercita o influență mai puternică asupra climei. Unul dintre ele implica un efect direct asupra nebulozității, deci și asupra strălucirii Pământului. Aceasta era ipoteza daneză, la care a aderat Goode de la Big Bear. Ea a apărut însă înainte de a se face măsurători precise asupra luminii Pământului; totuși, prelucrarea datelor observațiilor satelitare asupra păturii de nori globale a durat destui ani pentru ca variațiile nebulozității globale să fie comparate cu posibile cauze.

Henrik Svensmark, fizician la Institutul Danez de Meteorologie din Copenhaga, împărtășea uimirea generală în privința efectului Soarelui asupra climei. În pofida numeroaselor mărturii istorice despre existența acestui efect, nu se cunoștea niciun mecanism clar. Svensmark știa că variația activității Soarelui pe parcursul unui ciclu al petelor solare influențează intensitatea fluxului de raze cosmice. Aceste particule atomice de mare energie cad ca o ploaie pe Pământ, provenind de la stelele care explodează în galaxie. Intensitatea fluxului de particule este minimă atunci când Soarele se află în stare activă, prezentând multe pete și un puternic vânt solar care împrășteie în mare măsură radiația cosmică prin efectul său magnetic.

Radiația cosmică produce indicatori radioactivi în atmosfera Pământului, printre care și carbonul-14 folosit în arheologie pentru datarea evenimentelor. În trecut au fost evidențiate legături puternice între variațiile vitezei de producere a acestora și schimbările climatice. Majoritatea climatologilor au privit variațiile intensității radiației cosmice, care se reflectau în valorile vitezelor de producere a carbonului-14, doar ca pe niște indicatori ai schimbărilor generale din Soare, care i-ar fi putut afecta strălucirea. Asemenea altor cercetători dinaintea lui, Svensmark a bănuait că legătura cu clima ar putea fi mai directă.

Dar dacă radiația cosmică ar ajuta la formarea norilor? Atunci o intensitate mare a radiației cosmice, corespunzătoare unui Soare inactiv, ar face ca Pământul să arate și mai luminos, cu o nebulozitate suplimentară. Acesta ar respinge și mai mult din lumina Soarelui și astfel s-ar răci. Invers, o intensitate mai mică a radiației cosmice ar însemna mai puțini nori și o planetă mai caldă.

Lucrând în timpul său liber din vacanța de Crăciun a anului 1995, Svensmark a căutat pe Internet până a găsit legătura de care avea nevoie. Comparând datele despre nori culese de International Satellite Cloud Climatology Project (Proiectul climatologic de studiu al norilor cu ajutorul sateliților internaționali) cu înregistrările radiației cosmice obținute la stația Chicago din munții Colorado, el a observat că dimensiunea păturii de nori a crescut puțin între anii 1982 și 1986, în tandem cu creșterea intensității radiației cosmice. Apoi a urmat o scădere a grosimii păturii de nori, odată cu reducerea intensității radiației cosmice, între anii 1987 și 1991.

Svensmark a găsit o persoană receptivă la ideile sale, în persoana lui Eigil Friis-Christensen, șeful departamentului de fizică solar-terestră din institutul unde lucra, și care publicase dovezi ale unei influențe solare puternice asupra climei în timpul secolului al 20-lea. Friis-Christensen căuta o explicație fizică a fenomenului și a intuit imediat că Svensmark găsisese conexiunea lipsă. Cei doi au examinat împreună presupusa legătură dintre radiația cosmică și nori și au anunțat rezultatele preliminare la o conferință de științe spațiale ce a avut loc în Anglia, la Birmingham, în vara anului 1996.

Apoi, Friis-Christensen a plecat de la institut pentru a deveni principalul specialist în științe spațiale din Danemarca, în calitate de director al Institutului Danez pentru Științele Spațiale. Nu după mult timp, Svensmark l-a urmat, pentru a continua cercetările. În 2000, colaborând cu Nigel Marsh și folosind datele despre nori de la International Satellite Cloud Climatology Project, Svensmark a identificat norii cei mai afectați de variațiile razelor cosmice. Erau nori situați la altitudini și latitudini joase, cel mai adesea vizibili deasupra oceanelor tropicale.

La prima vedere acest rezultat era surprinzător. Razele cosmice, focalizate de magnetismul Pământului și absorbite de aer, au cea mai mare intensitate lângă Poli și la altitudini mari. Aceasta înseamnă că rămân oricum destule particule care să producă nori în aceste regiuni, chiar și atunci când numărul lor este relativ mic. Asemenea ploilor torențiale din deșerturi, creșterea intensității razelor cosmice are cel mai mare efect în regiunile unde de obicei radiația este de mică intensitate.

O reducere, în medie, a păturii de nori de altitudine joasă de-a lungul secolului al 20-lea, datorată intensității slabe a radiației cosmice, ar fi cauza pentru care mai puțină energie solară a fost respinsă în spațiu de către Pământ, sub forma luminii sale. Rezultatul ar fi o încălzire a planetei. Marsh și Svensmark au concluzionat: „Estimările brute ale variațiilor diferenței dintre bilanțul radiativ în condiții de nori și cel în condiții de cer senin ce au avut loc în ultimul secol, în care fluxul magnetic solar a crescut de peste două ori, indică faptul că un mecanism raze cosmice galactice / nori pare să fi contribuit cu aproximativ 1,4 wați pe metru pătrat la efectul de încălzire globală vizibil. Aceste observații oferă dovezi convingătoare care justifică studiile viitoare ale efectului radiației cosmice asupra norilor”.

Acesta era un duel verbal cu Comisia Interguvernamentală asupra Schimbării Climei (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), care a dat cifre

similare, de 1,5 wați pe metru pătrat, pentru efectul de încălzire datorat întregii cantități de dioxid de carbon degajate în atmosferă de activitățile umane. Fiind responsabilă oficială cu ipoteza că încălzirea globală se datora în special dioxidului de carbon și altor gaze de seră, Comisia ezita să dea credit unei influențe atât de mari a Soarelui. În 2001, în raportul său științific, Comisia declara: „Ipoteza unei influențe a radiației cosmice asupra nebulozității rămâne nedemonstrată”.

● Chimicale în atmosferă

Specialiștii în fizica particulelor și în chimia atmosferei au intervenit pentru a stabili cu exactitate mecanismul prin care razele solare ar putea contribui la formarea norilor. Jasper Kirkby de la CERN, laboratorul european de fizică a particulelor din Geneva, a văzut o șansă pentru ca domeniul său de activitate, mai degrabă ezoteric, să se afirme în cercetarea mediului, prin investigarea posibilelor cauze ale schimbării climei. „Noi ne propunem să verificăm experimental legătura dintre radiația cosmică și nori și, dacă aceasta se confirmă, să-i descoperim mecanismul microscopic”, a declarat el.

Începând din 1998, Kirkby a lansat ideea unui experiment numit CLOUD, în cadrul căruia un accelerator de particule emite un fascicul de radiație care simulează radiația cosmică, printr-o cameră în care era reprodusă atmosfera rece și umedă în care se formează norii. În 2000 el recrutase deja peste 50 de oameni de știință de la 17 institute din Europa, Rusia și SUA, pentru o colaborare cu CERN.

În pofida susținerii solide, proiectul a fost amânat din cauza criticilor. Până când s-a răspuns acestora, CERN a rămas fără fonduri pentru proiecte noi de cercetare. În 2003, Stanford Linear Accelerator Center analiza preluarea experimentului, însă cu o mai mare participare a SUA.

Scopul echipei CLOUD este să detecteze în ce mod generarea ionilor în camera experimentală de către fasciculul de particule incident ar putea stimula formarea norilor. Prezența urmelor unor substanțe chimice, cum ar fi acidul sulfuric și amoniacul, componente cunoscute ale aerului, și comportamentul lor în prezența și în absența ionilor sunt factori decisivi în acest proiect. În atmosfera reală, tocmai din aceste substanțe chimice Mama Natură creează particule microscopice transportabile de către aer, numite nuclee de condensare, în jurul cărora se formează mici picături de apă din aerul suprasaturat cu vapori de apă.

Progresele chimiei atmosferei au confirmat ideea unui rol important al radiației cosmice în catalizarea formării nucleelor de condensare, mai ales în atmosfera pură de deasupra oceanelor, unde Svensmark spunea că efectul este maxim. Fangqun Yu și Richard Turco de la UC Los Angeles studiau dărele pe care avioanele le lasă în urma lor pe cer. Ei au descoperit că particulele necesare pentru condensare se formau în jetul de curent al elicei avionului mult mai repede decât prevedea teoria tradițională. Evident, ionii produși de combustibilul consumat ajutau particulele să se formeze și să se dezvolte.

În 2000, Yu și Turco au făcut public faptul că radiația cosmică ar putea ajuta la crearea nucleelor de condensare și, prin urmare, a norilor înșiși. În viziunea lor, moleculele de acid sulfuric și cele de apă care se ciocnesc și fuzionează formând niște clusteri embrionari minusculi. Sarcinile electrice, furnizate de ionii ce apar în urma trecerii razelor cosmice, ajută clusterii să supraviețuiască, să se dezvolte și apoi să se coaguleze rapid în particule suficient de mari pentru a juca rol de nuclee de condensare pentru nori.

Reunificarea științelor în secolul al 21-lea este cel mai bine oglindită în afirmația că strălucirea părții întunecate a Lunii, descoperită de Leonardo și măsurată de astronomi, poate varia în funcție de procesele chimice din atmosfera Pământului, care sunt influențate de interacțiunea Soarelui cu Galaxia – și că toate acestea pot fi cel mai bine investigate cu ajutorul fizicii particulelor.

- Pentru mai multe informații despre climă, vezi **SCHIMBĂRILE CLIMATICE**. Pentru dovezi despre efectul puternic al Soarelui asupra climei, vezi **FENOMENE GLACIARE**. Controlul radiației cosmice prin intermediul Soarelui este explicat mai pe larg în **VÂNTUL SOLAR**.



MAMIFERELE

Pe urmele mamiferelor într-o lume a continentelor în derivă

"D EȘERTUL GOBI este renumit pentru numărul mare de fosile de dinozauri sau de alte viețuitoare care au trăit acum aproximativ 100 de milioane de ani" a spus Rinchen Barsbold, director al Centrului de Paleontologie al Academiei de Științe a Mongoliei de la Ulanbator. „Printre acestea se află mamifere mici, predecesoarele celor care au moștenit planeta după ce au dispărut dinozaurii.”

La opt secole distanță de când Gingis Han i-a condus în lupta de cucerire a majorității teritoriilor cunoscute atunci, mongolii sunt astăzi înconjurați de China și de Rusia. Partea sudică a țării lor mai degrabă săracă e foarte aridă, însă comoarele ei îngropate atrag căutătorii de fosile din întreaga lume. În afară de tonele de rămășițe de dinozauri, există câteva grame prețioase de dinți și de oase ale unor animale nu mai mari decât șoarecii sau marmotele, care fugeau mâncând pământul pentru a scăpa de picioarele și de fălcile reptilelor gigantice.

O femeie cu spirit de aventură de la Academia de Științe a Poloniei a condus, începând din 1963, o serie de expediții pentru căutarea fosilelor în deșertul Gobi. Cea mai spectaculoasă descoperire făcută de Zofia Kielan-Jaworowska a fost cea a doi dinozauri care au murit în luptă – protoceratops și velociraptor. Din punct de vedere științific, descoperirea sa principală, anunțată în 1969, a fost *Kennalestes* – un mic mamifer ale cărui rămășițe au fost găsite în roci vechi de 80 de milioane de ani, ce avea dinți asemănători celor actuali. Numiți de specialiști molari tribosfenici, aceștia puteau fi folosiți atât pentru a tăia, cât și pentru a mărunți hrana.

O echipă sovietică a descoperit un animal cu dinți relativ asemănători într-o altă zonă din deșertul Gobi, care data însă de 114 milioane de ani. În 1989, Kielan-Jaworowska și un paleontolog mongol, Demberlyin Dashzeveg, l-au descris și l-au denumit *Prokennalestes*. Perioada în care a trăit cel mai vechi mamifer tribosfenic cunoscut din emisfera nordică a fost extinsă și mai mult atunci când, în 2001, paleontologul francez Denise Sigogneau-Russell și colegii ei britanici au anunțat găsirea lui *Tribactonodon* în straturile de calcar vechi de 135 de milioane de ani din sudul Angliei.

Între timp, Kielan-Jaworowska devenise o susținătoare ferventă a ideii că animalele din Mongolia reprezentau perioada evoluției timpurii a mamiferelor

placentare, tipul de viețuitoare din care face parte și omul. Spiritele s-au încins atunci când și-au făcut apariția dinți asemănători celor actuali mai întâi în Australia și apoi în Madagascar, aceștia din urmă fiind datați mult mai devreme, acum aproximativ 167 de milioane de ani. Sunt mamiferele cu molari tribosfenici originare din emisfera sudică?

Pentru a-și apăra punctul de vedere, Kielan-Jaworowska s-a alăturat colegilor din SUA care susțineau ipoteza că dinți de același fel au evoluat independent în ambele emisfere. „Singurii urmași ai animalelor reprezentate de acei molari din emisfera sudică sunt, după părerea noastră, bizarele monotreme din Australia”, a spus ea. „Mamiferele care contează cu adevărat au o origine nordică, după cum se observă în Mongolia.”

● Jocurile de puzzle ale geografiei în continuă schimbare

Mamiferele au corpul acoperit cu păr și sângele cald, dar ceea ce le deosebește esențialmente de alte animale este capacitatea lor de a-și hrăni puii cu lapte, o manevră evolutivă foarte reușită. Controversa cu privire la originea mamiferelor este departe de a se fi încheiat, însă oferă o excelentă mostră a stilurilor de cercetare a cursului evoluției, de la începutul secolului al 21-lea.

În timp ce Kielan-Jaworowska și colegii săi căutători de fosile discutau aprins pe tema dinților și a oaselor, într-un mod mai mult sau mai puțin tradițional, specialiști din domenii destul de diferite au avut, de asemenea, un cuvânt de spus în această privință. Mai întâi, a intrat în scenă paleogeografia, care presupune întocmirea de către geologi a unor hărți ce ilustrează mișcările continentelor în trecut. Evoluția mamiferelor coincidea cu divizarea supercontinentului Pangeea, și cu siguranță nu a urmat același curs pe diferitele fragmente ce se îndepărtau unul de celălalt.

Încă din secolul al 19-lea era binecunoscută influența factorului geografic în distribuția mamiferelor. Dintre mamiferele care trăiesc astăzi, cele mai primitive sunt monotremele, incluzând și ornitorincul, care depune ouă. Neavând mame-loane, monotremele exsudă pur și simplu laptele prin piele. Urmașii monotremelor trăiesc numai în Australia.

Cangurii, urșii koala și toate mamiferele native din Australia sunt marsupiale. Aceștia dau naștere unor pui foarte mici care își încheie gestația într-un buzunar natural atașat de corpul mamei, unde sunt hrăniți cu lapte. Deși au fost găsite fosile de marsupiale în Africa și în Eurasia, acestea nu s-au statornicit niciodată cu adevărat pe aceste continente. În schimb, toate mamiferele native din Lumea Veche sunt placentare, ele dezvoltându-se în pânțele mamei până la dimensiuni destul de mari. Această strategie a dat rezultate la mamifere dintre cele mai variate, de la lilieci la balene, precum și la ființele umane.

În America de Sud, tabloul s-a complicat acum 3 milioane de ani când s-a format fâșia de uscat ce a unit continentul cu America de Nord – Istmul Panama. De atunci au avut loc numeroase schimburi reciproce de specii. Înainte de aceasta,

mamiferele principale din America de Sud erau marsupialele și un grup de placentare aproape lipsite de dinți din ordinul edentatelor. Astăzi, din acest ordin fac parte leneșul, tatuul și furnicarul. Dar mai erau de asemenea lamele și, cel mai surprinzător, unele maimuțe.

Geografia mamiferelor native le face cadou evoluționiștilor o problemă spinoasă din punct de vedere logic și cronologic. Strămoșul comun al marsupialelor și al placentarelor trebuie să fi apărut în perioada în care aproape toate fâșiile de uscat erau unite în supercontinentul Pangeea, cu aproximativ 200 de milioane de ani în urmă. Placentarele nu și-ar fi putut face debutul mai înainte ca Australia să le devină inaccesibilă, în cursul unei desprinderi a părții sudice a Pangeei (continentul Gondwana), probabil în urmă cu 120 de milioane de ani. Însă posibila „fereastră de lansare” a liniei placentarelor s-a închis atunci când edentatele s-au îmbarcat pe arca Sud-Americană, mai înainte ca aceasta să se îndepărteze de Africa acum aproximativ 100 de milioane de ani.

Biologia moleculară a contribuit și ea la cercetările asupra evoluției mamiferelor. Asemănările și diferențele dintre genele și proteinele animalelor vii permit specialiștilor să elaboreze arbori genealogici, fără a se baza pe dovezi fosile. Această tehnică moleculară nu poate fi folosită pentru dinozauri sau pentru alte grupuri de fosile care nu au urmași vii în zilele noastre.

Cu cât moleculele sunt mai asemănătoare, cu atât animalele sunt mai strâns înrudite. Cu cât sunt mai diferite, cu atât mai mult timp în urmă au avut un strămoș comun și, cu ajutorul unor repere fosile, putem asocia date aproximative momentelor în care s-au produs ramificații. Această tehnică arată că strămoșii tuturor mamiferelor – monotreme, marsupiale și placentare – au trăit acum aproximativ 140 de milioane de ani. Conform acestei evaluări, primele placentare au apărut cu aproximativ 108 milioane de ani în urmă, perioadă situată exact în „fereastra de lansare” geografică.

După ce a comparat 22 de gene de la 42 de mamifere placentare foarte diferite și de la două marsupiale, o echipă de cercetători din SUA, Brazilia, Olanda și Marea Britanie a regrupat placentarele. Din punct de vedere genetic, ele se încadrau în mod natural în patru mari grupe. Cercetătorii au afirmat în plus, în 2001, că au găsit corespondența noului lor arbore genealogic cu geografia în schimbare a divizării Pangeei.

Conform acestei analize, cel mai vechi grup de placentare este cel al afroterienilor. Având originea în Africa, acesta cuprinde astăzi elefanții și aardvarkul. Al doilea grup care s-a desprins din acesta a fost xenartra, reprezentând contingentul sud-american principal. Aici apare în mod clar și direct ideea că strămoșii tatuului și ai leneșului erau afroterieni ce populau America de Sud pe vremea când aceasta era încă unită cu Africa. Aceste animale s-au dezvoltat în felul lor, fără dinți, într-o glorioasă izolare, după ce a apărut Atlanticul.

„Originea mamiferelor placentare a fost plasată în sud”, a afirmat Stephen O'Brien de la Institutul Național de Cercetare a Cancerului din Maryland, cen-

trul investigațiilor genetice. În sprijinul afirmației sale, el a remarcat că unii descendenți ai afroterienilor, cum ar fi aardvarkul, nu mai apar decât în Africa. În ceea ce privește mamiferele din Mongolia, specialiștii au concluzionat că ar putea într-adevăr să reprezinte placentare timpurii, care însă au dispărut. Strămoșii mamiferelor native din emisfera nordică au ajuns probabil aici din altă parte, pe o cale ocolită, pentru a repopula Eurasia.

Grupurile despre care este vorba sunt laurasiaterienele – reprezentate de hipopotami, lilieci, feline și arici – și euarchontoglirele – care includ șobolani, iepurii și maimuțele. Cel mai surprinzător mesaj al genelor este faptul că ele par a fi de origine sud-americană. Ambele grupe sunt descendente din xenartra.

Prin urmare, din curioasa istorisire a lui O'Brien și a colegilor săi reiese că aceste grupuri uriașe reprezintă potențiali leneși care s-au răzgândit. Ei au sărit de pe America de Sud, ce se îndepărta ușor, înapoi în Africa, pentru a deveni în loc de leneși, gheparzi și ființe umane.

● Marele spectacol

Expertii în fosile tradiționaliști nu puteau admite acest scenariu genetic fără luptă. Existau, în orice caz, câteva probleme majore. Cea mai importantă era datarea cu ajutorul moleculelor a multora dintre momentele în care s-au produs ramificații ce au dus la apariția familiilor contemporane de mamifere, în urmă cu 80 și chiar cu 103 milioane de ani. Aceasta era în contradicție cu credința îndelung păstrată că marea scindare a mamiferelor în atât de multe familii nu ar fi putut începe înainte ca dinozaurii să dispară acum 65 de milioane de ani, la sfârșitul erei mezozoice.

Pe parcursul îndelungatei lor stăpâniri asupra planetei, dinozaurii s-au îndepărtat foarte puțin de tiparul prădătorului gigant sau al erbivorului uriaș. Pentru mamiferele alergătoare nu exista scăpare de tirania reptiliană. Pe de altă parte, lumea mezozoică a traversat o perioadă în care vegetația s-a schimbat radical, odată cu apariția, diversificarea și răspândirea plantelor cu flori, în urmă cu 120 de milioane de ani. Aceasta a stimulat, după cum s-ar părea, dezvoltarea insectelor și a micilor mamifere care se hrăneau cu ele. Este posibil ca primatele, care ulterior au inclus maimuțele, hominidele și oamenii, să fi apărut acum 80 de milioane de ani ca urmare a introducerii pentru prima dată a fructelor și nucilor în alimentație.

Multe mamifere mici au supraviețuit în urma impactului cometei sau asteroidului cu Pământul care a dus la dispariția dinozaurilor în urmă cu 165 de milioane de ani. O imagine locală a fosilelor datând din acea perioadă, descoperită în Montana, SUA arată că 18 din 22 de specii de placentare au supraviețuit dezastrelor, însă numai una din 13 specii de marsupiale. La nivel global, 75% din grupurile de specii marsupiale au dispărut, în comparație cu doar 11% din grupurile de specii placentare. Această diferență a ratelor de supraviețuire ne ajută să înțelegem de ce marsupialele au dispărut din Africa și de pe continentele

nordice, până când oposumul a pătruns din America de Sud în America de Nord în urmă cu 3 milioane de ani.

Mamiferele aveau din ce în ce mai multe motive să se bucure de blana lor. După dispariția dinozaurilor clima s-a răcit progresiv, mai ales când Antarctica s-a stabilit la Polul Sud și a înghețat. Mai înainte de aceasta, Australia se despărțise de Antarctica în urmă cu 45 de milioane de ani și își începuse croaziera către nord, împreună cu echipajul său de monotreme și marsupiale.

Balenele care trăiau atunci în Oceanul Sudic au început să exploateze resursele oferite de Curentul Circumantarctic ce devenea din ce în ce mai extins și mai intens. Pe măsură ce distanța dintre Australia și Antarctica se mărea, balenele creșteau în dimensiuni, în pas cu geografia în schimbare. În cele din urmă, balenele i-au întrecut în greutate chiar și pe cei mai mari dinozauri.

Evoluția liniei noastre ce descinde din primate, de la micii locuitori ai copacilor la maimuțe, hominide și oameni a fost mult mai directă decât transformarea unui animal asemănător porcului într-un înotător enorm. Brațe viguroase, picioare agile și ochi așezați frontal pentru a aprecia distanțele erau rafinări și variații realizate de-a lungul întregii istorii a primatelor din Africa. Tot atunci a apărut și mersul vertical, în urmă cu aproximativ 6 milioane de ani, permițând astfel mâinilor să se ocupe cu treburi mai inteligente.

Un amănunt bizar umbrește însă istoria simplă și elegantă a evoluției mamiferelor, relativ la separarea continentelor. Maimuțe strâns înrudite cu cele din Africa au apărut pentru prima dată în America de Sud acum aproximativ 35 de milioane de ani. Paleogeografia afirmă cu tărie că nu exista niciun drum pe uscat în acea perioadă. Printr-o revenire ciudată la variantele maritime ale celor care nu credeau în separarea continentelor, ni se cere să ne imaginăm o femelă gestantă călare pe un buștean purtat accidental de vânturile alizee peste Atlanticul de Sud, care ar întemeia dinastia maimuțelor cu nas turtit.

Regresiile datorate impactului cu comete sau asteroizi nu au încetat după impactul cel mare care a exterminat dinozaurii. De exemplu, craterul Popigai din Rusia cu diametrul de 100 de km este mărturia vie a unui eveniment teribil ce a avut loc acum 36 de milioane de ani, la sfârșitul perioadei eocene. Multe mamifere primitive au avut de suferit atunci. În perioada următoare au apărut și mai multe familii noi incluzând pisicile, câinii, rinocerii, porcii și urșii. Un crater de 24 de km la Ries, Germania, corespunde cu sfârșitul perioadei Miocenului timpuriu, de acum 15 milioane ani, când 30% dintre speciile de mamifere au fost distruse.

Răcirea continuă a climei a dus la restrângerea suprafețelor împădurite și astfel au apărut primele pășuni acum 30 de milioane ani. Atunci evoluția a deschis un nou capitol prin apariția primelor animale rumegătoare, capabile să digere iarba. Carnivorele s-au dezvoltat pentru a le devora pe acestea, ajungându-se astfel la apogeul ce poate fi observat astăzi pe pășunile Africii de Est.

● Blitzkrieg în Pleistocen

În cazul mamiferelor mari a survenit un caz mai puțin creativ de coevoluție o dată cu apariția omului în timpul seriei actuale a erelor glaciare care au devenit mai severe în Pleistocen. Agravând problemele schimbării climatice neîncetate, vânătorii mult prea zeloși au exterminat marsupialele uriașe din Australia și două treimi din speciile de mamifere mari din cele două Americi. În Europa, oamenii au luat locul urșilor care trăiau în peșteri.

Unii comentatori au comparat acest blitzkrieg (război-fulger) din Pleistocen purtat de strămoșii noștri cu extincțiile anterioare din îndelungata istorie a Pământului, incluzând aici și catastrofa din Cretacicul terțiar de la sfârșitul Mezozoicului care a exterminat dinozaurii, eliberând mamiferele. David Raup de la Chicago a respins această idee. „Nu este nici pe departe așa”, scria el în 1991. „Numai cele mai șovine mamifere – adică noi – ar putea considera acel eveniment ca fiind similar cu extincția în masă din Cretacicul terțiar.”

Acesta nu este un motiv de mulțumire. Masacrul continuu al prădătorilor feroce, deși realizat în special în scopuri defensive, a distrus ecosistemele naturale din întreaga lume. Și multe alte mamifere figurează astăzi pe lista speciilor pe cale de dispariție.

După 200 de ani de când Georges Cuvier a uluit lumea cu patrupelele antediluviene ale căror fosile le-a dezgropat din bazinul Parisului, scena pare în sfârșit pregătită pentru derularea marelui spectacol al vieții mamiferelor de-a lungul ultimilor 140 de milioane de ani. Studiile despre evoluție în general s-au maturizat o dată cu descoperirea mecanismelor pentru inventarea rapidă și experimentală a noilor forme. Oare ce maestru îi va dirija acum pe cei care cercetează fosilele, deplasarea continentelor, impacturile cosmice, clima și genele și îi va convinge să cânte la unison?

- *Pentru mai multe informații despre evoluția din Mezozoic, capitolul DINOZAUROI conține amănunte despre reptilele gigantice și despre originea păsărilor, ce a survenit în paralel cu cea a mamiferelor, în timp ce ALCOOLUL se referă la apariția fructelor. Iarba și rumegătoarele figurează în ENZIMELE GLOBALE. Pentru trecerea de la hominide la oameni, vezi ORIGINEA UMANĂ. Pentru consecințele ecologice ale luptei omului cu prădătorii feroce, vezi PRĂDĂTORII. Paleogeografia e prezentată pe larg în CONTINENTE ȘI SUPERCONTINENTE. Informații generale despre studiul moleculelor apar în ARBORELE VIEȚII ȘI EVOLUȚIA MOLECULELOR. IMPACTURILE ȘI EXTINCȚIILE tratează problema contribuției extraterestre. Pentru mai multe detalii despre evoluție în general, vezi EVOLUȚIA și referințele de acolo.*



MAȘINILE TIMPULUI

Cea mai importantă întrebare a fizicii contemporane?

O CARICATURĂ DESENATĂ de Igor Novikov în cartea sa *Râul timpului* înfățișează un om de știință care ajunge în Paradis chiar la timp pentru a o opri pe Eva să culeagă fructul oprit. Este o ilustrare perfectă a problemei care pentru mulți oameni elimină posibilitatea de a călători înapoi în timp. Nu se poate vizita trecutul fără a-l schimba, fapt care va modifica prezentul de la care se pornește, creând astfel o imposibilitate logică.

Într-un mod mult mai succint, am putea să ne asasinăm propria bunică. Pentru oamenii de știință este un mister faptul că deși legile biologiei exclud ideea de mașină a timpului, nu același lucru se poate spune și despre legile fizicii. Dimpotrivă, ele chiar încurajează această idee. Antiparticulele, care există cu certitudine, nu se pot distinge de particulele obișnuite care se deplasează înapoi în timp.

Potrivit teoriei relativității, este extrem de ușor (în teorie) să călătorim în viitor prin intermediul unui zbor dus-întors la bordul unei rachete de mare viteză, iar la reîntoarcerea pe Pământ să nu ne mai găsim nicio rudă în viață. Dacă am putea să orbităm în jurul unei găuri negre, unde timpul se scurge foarte încet, acest lucru ar mări diferența între timpul scurs pe Pământ și cel petrecut de noi în spațiu. Aceste efecte asupra timpului au fost verificate prin observații, deși acestea au fost făcute asupra diferitelor particule și a luminii, mai degrabă decât asupra unor călători în timp.

Pentru a vizita trecutul trebuie fie să călătorim mai repede decât lumina, fapt care este exclus în mod explicit de teoria relativității, sau să ne folosim de o „gaură de vierme” în continuumul spațiu-timp. Aceasta este mașina timpului în varianta cea mai accesibilă. Intrarea se face printr-un punct, traversăm un tunel care se află efectiv în afara Universului nostru, și apoi reapărem într-un loc și/sau timp diferit. Nimeni nu știe cum ar putea fi construită o astfel de „gaură de vierme”, dar legile fizicii nu exclud acest lucru. Și chiar dacă la un moment dat ar interzice acest lucru, aceasta ar fi ea însăși o adăugire importantă la principiile fizicii.

Dacă e posibilă călătoria în timp, poate că Mama Natură o întrebuințează deja. În acest caz, viitorul poate afecta trecutul, iar implicațiile ideii de cauzalitate sunt înfricoșătoare. Posibilitățile pot fi ilustrate de către un joc de biliard haotic. Pur

și simplu lovim bilele în orice direcție. Găurile de vierme ce leagă găurile din masa de biliard fac posibil ca bilele ce apar din trecut să se lovească de ele însele pentru a intra în găurile dorite.

Natura timpului a fost disecată încă de pe vremea lui Platon dar, în mod straniu, nu s-a ajuns la vreo concluzie clară. Spre exemplu, s-a discutat aprins despre faptul că legile termodinamicii determină o curgere ireversibilă a timpului, căci toate sistemele tind spre o temperatură uniformă – descrisă ca o creștere a entropiei. Experiența noastră personală, formată din trecutul pe care ni-l amintim și din viitorul necunoscut, e compatibilă cu această idee a unui sens ireversibil al evoluției termodinamice. Totuși, viața însăși sfidează entropia, iar cercetătorii nu au reușit niciodată să demonstreze că ea ar exclude ideea de călătorie în timp.

Descoperirea expansiunii Universului este considerată de către alți experți ca fiind generatoarea unei alte săgeți a timpului. Dacă Universul nu s-ar extinde ci, dimpotrivă, ar începe să se contracte, timpul ar deveni reversibil, morții ar învia, iar noi ne-am retrăi viețile în sens invers, până în momentul în care am fost în pântecul matern. Strălucitul teoretician Yakov Zel'dovich de la Institutul de Cercetări Spațiale din Moscova a respins această idee ca fiind la fel de absurdă ca și ideea că un ceas de la bordul unei rachete ar trebui să înceapă să meargă invers, o dată ce racheta a atins înălțimea maximă și începe să coboare spre pământ.

Atât Zel'dovich, cât și Novikov au reflectat asupra ideii de buclă spațio-temporală, la fel și John Wheeler în S.U.A., însă cel care a încercat să găsească o posibilitate practică de utilizare a găurilor de vierme a fost Kip Thorne de la Caltech. El le-a sugerat ca mijloc de călătorie spațială într-o scrisoare către astronomul Carl Sagan de la Cornell, care căuta un mod plauzibil de a călători în Univers pentru personajele romanului său științifico-fantastic „*Contact*” (1985).

Despre acest roman, mai târziu, Thorne avea să spună: „A prezentat lumii S.F.-ului și a readus în atenția oamenilor de știință noțiunea de gaură de vierme ca fiind un lucru demn de luat în considerare”. Convertirea unei mașini spațiale într-o mașină a timpului nu este deloc un lucru ușor, dar Thorne a continuat să caute să dezlege această enigmă, și la fel a făcut și Novikov, după ce s-a mutat de la Moscova la Copenhaga, în 1991.

„Ar fi posibilă existența unei mașini a timpului?”, s-a întrebat Novikov. „Aceasta mi se pare cea mai importantă întrebare a fizicii contemporane. Dacă este posibil în natură, atunci trebuie să căutăm efectele. Iar dacă găurile de vierme vor deveni vreodată accesibile inginerilor, urmașii noștri vor dori, fără doar și poate, să folosească mașini spațiale pentru a călători în Univers și mașini ale timpului pentru a explora trecutul și viitorul.”

● Antiparticule cu anticeasuri

Să luăm o fâșie lungă și subțire de hârtie și să îi lipim capetele, după ce îi rotim cu 180 de grade un capăt. Vom obține astfel o bandă a lui Möbius, un obiect

binecunoscut matematicienilor încă de pe timpul când descrierea sa a fost descoperită în scrierile lui August Möbius din Leipzig, după moartea sa, în 1868. Inofensivul artifact rămâne un bun punct de plecare pentru diferite idei radicale privind natura spațiului și a timpului.

Să presupunem că trăim pe o bandă Möbius, precum furnicile dintr-o binecunoscută pictură a lui Maurits Cornelis Escher. Ne putem orienta fără probleme atâta timp cât nu vom călători prea departe. Dar dacă vom face o plimbare de jur împrejurul benzii, vom ajunge în punctul de unde am plecat, însă dedesubtul benzii, separându-ne de prietenii noștri de deasupra. Susul și josul au devenit ambigue.

Inconveniente și mai mari ar apărea dacă am trăi în interiorul unei asemenea benzi. Atunci, dacă am pleca într-o călătorie fiind dreptaci, ne-am întoarce stângaci. Sau dacă am fi o particulă subatomică ce s-ar învârti spre dreapta, am ajunge să ne învârtim spre stânga la sfârșitul călătoriei. Matematicienii spun despre spațiul din bandă că este non-orientabil.

Mark Hadley, un fizician teoretician de la Warwick, s-a întrebat cum ar fi dacă timpul ar fi asemenea unei benzi Möbius, adică non-orientabil. O particulă care ar porni în călătorie s-ar întoarce atât învârtindu-se în sens invers, dar și într-un timp ce s-ar scurge înapoi. Particula s-ar transforma în propria antiparticulă. Hadley și-a imaginat un ceas trimis de-a lungul buclei care ar deveni un anticeas, care ar măsura anti-timpul.

Aceasta nu era doar o coniectură întâmplătoare sau vreo glumă a vreunui matematician, ci o parte a unei campanii serioase de a proba legătura dintre abordarea relativistă și cea cuantică a lumii. Hadley a argumentat că fenomenul de anihilare reciprocă ce apare atunci când particulele se întâlnesc cu antiparticulele lor necesită ca timpul să fie lipsit de orientare sau, cu alte cuvinte, să aibă două sensuri. „Absența orientării timpului și anihilarea dintre particule și antiparticule nu se pot distinge”, spunea el. „Ele sunt descrieri alternative ale aceluiași fenomen.”

Probabil că acest lucru adaugă câteva avertismente în ceea ce privește ideile legate de mașinile timpului. Primul ar fi acela că am putea înnebuni gândindu-ne la ele. Dintr-un punct de vedere mult mai practic, dacă intenționăm să călătorim în spațiu și/sau timp utilizând găurile de vierme, trebuie să fim atenți să nu amestecăm propriile dimensiuni ale spațiului și timpului pe drum, pentru a nu sfârși cu mâini și picioare în lungime de o microsecundă. Și nu cheltuiți prea mulți bani pe un ceas scump, de teamă ca nu cumva să ajungă să meargă invers.

- *Pentru efectele relativiste bine stabilite asupra timpului, vezi CĂLĂTORII LA VITEZE MARI și GRAVITAȚIA, a doua incluzând ideea lui Hadley privind mașinile timpului ce susține o teorie non-cuantică a gravitației. Pentru efectele cuantice care asigură complexa simultaneitate în întregul Univers, vezi CONEXIUNEA CUANTICĂ. Pentru mai multe informații privind antiparticulele, vezi ANTIMATERIA. Referitor la o ipoteză privind folosirea găurilor de vierme pentru călătorii spațiale, vezi ASTRONAUTICA.*



MATERIALE AMORFE

Minunile solidelor neordonate și ale lichidelor ordonate

ROMANII, NU PREA PRICEPUȚI LA NAVIGAȚIE, au surprins lumea antică atunci când i-au învins pe iscusii marinari cartaginezi în lupta pentru dominația vestului Mediteranei. Reușita lor s-a datorat porturilor artificiale. Pe țărmul Mării Tirenene, la Cosa, se pot încă vedea pilonii de beton care au supraviețuit din vremea romanilor. Bucățele amestecate de piatră și de ceramică, legate cu mortar de var și cenușă vulcanică, au rezistat ravagiilor mării timp de peste 2 000 de ani.

Piatra și ceramica sunt ele însele solide neordonate. Cu milenii înainte să se inventeze betonul sau fibra de sticlă, constructorii știau cum să întărească lutul cu paie producând un material compozit. Impuritățile introduse în metale moi precum cuprul și fierul le transformau pe acestea în bronzul și oțelul din care se fabricau armele. Mineralogii și biologii se confruntă zilnic cu complexitatea fundamentală a materialelor și a țesuturilor naturale. Cu toate acestea, majoritatea fizicienilor au căutat puritatea, fie ea sub forma cristalului limpede, a unui element chimic rafinat sau a compusului în stare pură. Lor le plac în special teoriile referitoare la cum ar arăta lucrurile dacă n-ar fi atât de neordonate.

Ordinea care rezultă din dezordinea naturală a atras atenția uneori, cum a fost în cazul astronomului Johannes Kepler, care a studiat fulgii de zăpadă acum 400 de ani – întotdeauna frumoși, dar niciodată de aceeași formă. În secolul al 18-lea, Stephen Hales, un pionier al fiziologiei, a descoperit că boabele de mazăre lăsate libere într-un vas se distribuiau într-un mod neregulat și totuși bazat pe un principiu. Doar oamenii de știință foarte încrezători în ei înșiși păreau dispuși să pună întrebări despre comportamentul neordonat, ca de exemplu Michael Faraday, care a calculat proprietățile electrice ale substanțelor neordonate, sau Albert Einstein, care a studiat mișcarea browniană – deplasările aparent haotice ale particulelor fine de polen în apă.

În secolul al 20-lea, tot mai multe tehnologii au ajuns să depindă de imperfecțiuni – dintre care cea mai importantă este doparea siliciului cu impurități atomice, care stau la baza proprietăților sale semiconductoare și deci electronice. Nevill Mott de la Bristol (și mai târziu de la Cambridge) și Philip Anderson de la Laboratoarele Bell din SUA au elaborat teorii cu privire la efectele asupra

electronilor ale impurităților din materialele cristaline și amorfe, teorii care le-au adus Premiul Nobel pentru fizică în 1977. Dar dacă acest premiu poate fi privit ca un comentariu asupra noilor direcții în gândire, o vădită recunoaștere a dezordinii ca obiect al studiilor academice a fost Premiul Nobel pentru fizică din 1991, acordat lui Pierre-Gilles de Gennes de la Collège de France din Paris. Acesta ar fi putut la fel de bine să primească Premiul pentru chimie.

Încă din anii 1960, de Gennes a dezvoltat o știință complexă a materialelor neordonate și a capacității lor de a trece de la starea neordonată la starea ordonată. Asemenea tranziții apar în supraconductoare, în magneții permanenți, în materialele plastice, în cristalele lichide ale dispozitivelor de afișaj și în multe alte materiale. Cum transformarea poate fi provocată de variații ale temperaturii, ale concentrației chimice sau ale intensității câmpului magnetic sau electric, la prima vedere acestea par fenomene complet diferite. La o a doua vedere, de Gennes a descoperit analogii importante între toate, la nivelul unei matematici surprinzător de simple, și și-a aplicat ideile cu entuziasm în multe domenii ale științei materialelor.

● Despre blobi și Silly Putty

Aproape singur în demersul său, de Gennes a inversat tendința spre teoretizarea sterilă, simplificând abordarea practică a materialelor din viața reală. Polimerii industriali erau cel mai bun exemplu. Materialele plastice, fibrele și cauciucul sunt amestecuri neordonate de fibre moleculare asemănătoare spaghetelor, pe care le-am putea descrie folosind un calculator puternic, cu ajutorul matematicii complicate a interacțiunilor dintre mai multe corpuri. Sau am putea face adunările pe un șervețel dintr-un restaurant unde se servesc spaghete, dacă am lua în considerare blobii.

Pentru de Gennes, un blob (literal, picătură de lichid) era o măsură indirectă a concentrației, fiind pur și simplu o sferă reprezentând distanța dintre două fibre de polimer. Aritmetica era aceeași pentru orice lanț lung de polimeri și s-a dovedit un instrument folositor pentru a analiza rețelele încâlcite de lanțuri polimerice. Astfel, se disting trei tipuri de soluții: diluate, în care lanțurile polimerice nu interacționează, semidiluate, în care apar blobi de mărime intermediară, și concentrate, în care interacțiunile dintre lanțuri devin complexe. „Ideile s-au născut din experimentele de împrăștiere a neutronilor pe soluții de polimeri, care au confirmat existența celor trei tipuri de soluții”, afirma de Gennes în 1990.

Un alt concept simplu a lămurit confuziile datorate mișcărilor relative ale lanțurilor de polimeri încâlcite. În teoria lui de Gennes asupra agitației moleculare sau a fluajului, comportamentul materialului depinde doar de timpul necesar unui lanț de polimer pentru a se „scurge” în afara tubului creat de lanțurile adiacente. Jucăriile Silly Putty sunt făcute dintr-un polimer care se înmoaie și capătă o consistență vâscoasă dacă este lăsat în repaus, dar dacă este antrenat într-un proces rapid, sare ca o minge de cauciuc. Aceasta se petrece pentru că timpul de reptăție este lung.

De Gennes a continuat să se ocupe de mecanismul periculoasei hidroplanări a autoturismelor pe șoselele ude. Împreună cu grupul lui Françoise Brochard-Wyart de la Institutul Curie din Paris, el a clarificat, pas cu pas, procesul hidroplanării. Aderența pe șoselele ude depinde de formarea și de creșterea repetată a zonelor uscate dintre cauciucuri și șosea, pe măsură ce roțile se învârt. Când șoferul încearcă să încetinească, apare „invazia lichidă”: peliculele subțiri de apă împiedică formarea zonelor uscate. Este ca și cum mașina ar rula atunci pe gheață.

● Materiale inteligente

Fiind un spirit polivalent plin de entuziasm într-o epocă a specializării epuizante, de Gennes nu considera că rolul integrator al științei materialelor ar fi unul limitat. El comenta, în 1995: „M-am zbatut mult timp ca să am trei domenii în mica mea școală: fizica, chimia și biologia. Chiar într-o vreme în care nu sunt multe șanse pentru bioingineri în industrie, această triplă specializare este deja foarte importantă pentru inginerii fizicieni și chimiști”.

Prima realizare a grupului de specialiști în domeniile amintite, care și-a început activitatea la Institutul Curie din Paris, a fost testarea ideii mușchilor artificiali, avansată de de Gennes în 1997. Aceștia nu trebuiau să copieze binecunoscutul și totodată complexul sistem de proteine care produce acțiunea musculară la animale. În schimb, mușchii artificiali ținteau spre un efect similar – de contracții puternice și rapide – specific unor materiale cu totul diferite: cristalele lichide.

Descoperite în 1888 de către Friedrich Reinitzer, un botanist austriac, cristalele lichide sunt materiale neordonate tipice, care nu se comportă nici ca solidele, nici ca lichidele, dar seamănă cu ambele în diferite privințe. Ele au fost doar o curiozitate până în 1971, când Wolfgang Helfrich de la compania elvețiană Hoffmann-La Roche a descoperit că un câmp electric slab poate alinia moleculele mobile, de forma unor baghete în miniatură, ale unui cristal lichid, acesta pierzându-și transparența și devenind opac. Fenomenul acesta a deschis calea utilizării la scară largă a cristalelor lichide pentru dispozitivele de afișaj. De Gennes a venit cu ideea că o comportare similară într-un material special conceput în acest scop ar putea face cristalul lichid să se contracte întocmai ca un mușchi.

În această idee, se atașează câte o moleculă de cauciuc la fiecare capăt al unei molecule liniare de cristal lichid. Moleculele compozite se vor împleți formând o peliculă de cauciuc. Aceasta va avea cea mai mare dimensiune când toate moleculele cristalului lichid vor avea aceeași orientare. Dacă această aliniere este anulată, cu un fascicul de lumină de exemplu, zonele centrale ale cristalului lichid se vor orienta aleator în toate direcțiile. Aceasta va determina pelicula să se contracte brusc, ca un mușchi. În 2000, Philippe Auroy și Patrick Keller de la Institutul Curie au reușit să obțină polimeri compoziți care se contractau, după cum s-a prevăzut, ca mușchii naturali.

„Suntem acum în epoca materialelor inteligente”, a spus Keller. „Acestea își pot modifica forma sau dimensiunea în funcție de temperatură, de tensiunea

mecanică, de aciditate și așa mai departe, dar adesea ele reacționează sau revin la starea de repaus lent. Studiul nostru asupra mușchilor artificiali bazat pe cristale lichide ar putea deschide calea proiectării de polimeri inteligenți care reacționează rapid, pentru multe alte scopuri cum ar fi micro-pompele și micro-valvele necesare micro-aplicațiilor mecanicii fluidelor și ca „motoare” pentru micro-roboții sau micro-avioanele teleghidate.”

- Pentru alte stări neobișnuite ale materiei, vezi **PARTENERI MOLECULARI**, **CRISTALELE DE PLASMĂ** și **SUPERATOMI**, **SUPRAFLUIDE** și **SUPRACONDUCTOARE**.



Indicator
Indicator
Indicator
Indicator

L UMEA MATERIALĂ e alcătuită din energie solidificată – vezi **ENERGIA** și **MASA**. Materiile prime din Univers, inițial hidrogenul și heliul, par a fi fost create într-un eveniment neașteptat – vezi **BIG BANG**. În timpul acestui proces, materia poate să fi existat pentru scurt timp într-o formă specială – vezi **SUPA DE QUARCI**. Un mister rămâne și faptul că nu au fost create cantități egale de antimaterie, fapt care ar fi anihilat toată materia obișnuită – vezi **ANTIMATERIA**.

În Modelul Standard din fizica particulelor de la sfârșitul secolului al 20-lea, componenții de bază ai nucleelor atomice sunt quarcii de diferite tipuri, asociați în protoni și neutroni – vezi **FAMILIILE DE PARTICULE**. Originea masei lor se presupune că se datorează unor misterioase entități ce se răspândesc în spațiu și se adună în jurul particulelor – vezi **BOSONII HIGGS**.

În afară de quarci, Modelul Standard se aplică unor electroni foarte ușori și neutrinelor cu masa zero, dar în 1998 s-a demonstrat că aceștia din urmă se manifestă ca și cum ar avea o masă foarte mică – vezi **OSCILAȚIILE NEUTRINICE**. În afara Modelului Standard, mai există și ipoteza particulelor exotice care interacționează slab cu materia obișnuită – vezi **SPARTICULELE** și **MATERIA NEAGRĂ**.

Materiile prime ale cosmosului au fost elaborate în urma reacțiilor nucleare din stele, sub mai multe forme chimice diferite – vezi **ELEMENTELE**. Acestea au deschis calea către reacțiile chimice – vezi **MOLECULE ÎN SPAȚIU** și **MINERALE ÎN SPAȚIU** și, de asemenea, **ORIGINEA VIEȚII**. Particulele materiale pot avea un com-

portament ondulatoriu, cu consecințe foarte speciale – vezi CONEXIUNEA CUANTICĂ și SUPERATOMI, SUPRAFLUIDE ȘI SUPRACONDUCTOARE.

MATERIA NEAGRĂ

O rafală de timizi¹ sau
conspirația unor macho²?

VA TREBUI SĂ VĂ ÎNCADRAȚI PE BANDA DIN STÂNGA a autostrăzii Abruzzi, care merge spre Roma, dacă doriți să ajungeți la „peștera lui Aladin” a fizicienilor – Laboratori Nazionali del Gran Sasso. La capătul unei ramificații care se desprinde din marele tunel rutier ce străbate cel mai înalt dintre munții Apenini se află trei hale experimentale imense ce conțin rezervoare, cabluri, reactivi chimici și cabinele paznicilor pline cu aparatură electronică. Coridoarele sunt și ele înțesate de alte astfel de echipamente. Masivul de calcar de deasupra – având lățimea de 1 400 de metri – protejează laboratorul de orice altceva cu excepția radiației cosmice, care este cea mai penetrantă.

În locul pe care gazdele italiene îl numesc cu mândrie *il silenzio cosmico del Gran Sasso* (liniștea cosmică de la Gran Sasso), se desfășoară experimente internaționale, la scară industrială, în căutarea celor mai „timide” particule. Dacă ar fi descoperite, acestea ar putea rezolva un mister cosmic. Experimentele de aici se ocupă de materia neagră, încă neidentificată, despre care se estimează că este de zece ori mai multă decât toată materia cunoscută, atomică și subatomică. Așa cum semnalase astronomul elvețian Fritz Zwicky în anii 1930, materia neagră face ca roiurile de galaxii să se deplaseze mult mai repede decât ne-am aștepta.

O altă ipoteză presupune că materia neagră este alcătuită din particule exotice, diferite de materia obișnuită, și care nu interacționează cu aceasta decât prin intermediul forței gravitaționale. Fizicienii teoreticieni le numesc particule supersime-

¹ Joc de cuvinte specific limbii engleze, bazat pe dublul sens al cuvântului wimp: 1) acronim al expresiei w(eakly) i(nteracting) m(assive) p(article) – particulă masivă care interacționează prin intermediul forței slabe (gravitaționale) și 2) persoană timidă, care manifestă slăbiciune, indecizie, lașitate (n. trad.).

² Joc de cuvinte specific limbii engleze, bazat pe dublul sens al cuvântului macho: 1) acronim al expresiei (m)assive (a)stronomical (c)ompact (h)alo (o)bject – obiect astronomic masiv ce formează un halo compact și 2) persoană masculină foarte încrezătoare în sine, care se consideră superioară femeilor.

trice sau sparticule. În cadrul căutărilor materiei negre, mai puțin orientate spre teoria particulelor, ele sunt numite de obicei particule masive care interacționează slab, pe scurt, wimp-uri. Speranța vânătorilor de wimp-uri este că dacă din când în când unul din aceștia s-ar ciocni cu un nucleu atomic, l-ar putea pune în mișcare și și-ar face astfel simțită prezența. În anii 1990, câteva echipe din întreaga lume căutau deja materia neagră sub această formă greu de evidențiat.

DAMA, un proiect italiano-chinez derulat în laboratoarele protejate de muntele de la Gran Sasso, avea ca scop să găsească wimp-uri într-o masă de 100 de kilograme de cristale de iodură de sodiu de înaltă puritate. Un wimp care se ciocnește cu un nucleu ar produce scintilații cu proprietăți distincte față de cele generate din alte cauze. În anul 2000, după patru ani de observații, fizicienii de la Roma și de la Beijing care participau la acest experiment au considerat că au obținut dovada clară a existenței wimp-urilor.

În fiecare an, scintilațiile apăreau mai des în iunie decât în decembrie. Andrzej Drukier și colegii săi de la Centrul de astrofizică Harvard-Smithsonian preziseră deja, în 1986, acest comportament sezonier. Dacă wimp-urile ar fi prezente în galaxia noastră – Calea Lactee – ca materie invizibilă, pe Pământ ele ar trebui să fie percepute ca un vânt. În iunie, mișcarea planetei noastre în jurul Soarelui are aceeași direcție cu cea a Soarelui prin galaxie, astfel că vântul de wimp-uri ar trebui să fie mai intens, iar numărul de particule mai mare.

Rezultatele proiectului DAMA au provocat dezbateri ample între fizicieni. Mai multe echipe de cercetători aflate în competiție, folosind tehnici diferite, nu au reușit să confirme scintilațiile DAMA și atunci au căutat motive pentru a le infirma existența. Discuțiile pe acest subiect au devenit aprinse, iar drept răspuns, în 2002, conducătoarea experimentului, Rita Bernabei de la Roma, a afișat la adresa de internet a proiectului DAMA un citat din poezia „Dacă” a lui Rudyard Kipling:

*„De rabzi ca adevărul rostit cândva de tine
Răstălmăcit să fie, pentru-a prosti mulțimea....”*

Miza era o posibilă descoperire de o importanță uriașă, atât pentru astrofizicieni, cât și pentru fizica particulelor elementare. Ca întotdeauna în știință, controversa nu se va rezolva prin argumente sarcastice, ci prin cercetările ulterioare. Cu toții s-au străduit să mărească precizia instrumentelor utilizate, iar echipa DAMA a instalat la Gran Sasso un detector mult mai mare, conținând 250 de kilograme de iodură de sodiu.

● Stele negre de vânzare

Cei mai sceptici nu erau cercetătorii din echipele rivale de căutători de wimp-uri, ci aceia care considerau că aceste particulele sunt doar un mit, sau că nu pot exista în cantități atât de mari încât să depășească de zece ori masa de substanță din galaxiile vizibile de pe Terra. Alternativa propusă pentru particulele wimp au fost obiectele macho, însemnând obiecte astronomic masive ce formează un halo

compact în jurul galaxiilor. Aparent alcătuite din materie obișnuită, ele sunt considerate materie neagră în sensul propriu al cuvântului, deoarece sunt prea puțin luminoase pentru a putea fi văzute.

Litera „h” din cuvântul macho se referă la haloul galaxiei noastre. Iată că problema astronomică începea chiar în propria noastră ogradă, unde deplasările neașteptat de rapide ale unor stele de la periferia Căii Lactee erau considerate încă un simptom timpuriu al existenței materiei negre. În anii 1970, Vera Rubin de la Institutul Carnegie din Washington DC a demonstrat că stelele din multe alte galaxii spirale plate, așa cum este și a noastră, se comportă la fel.

În jurul discului strălucitor și foarte populat al Căii Lactee există un halo oarecum sferic în care stelele vizibile sunt puține, deși haloul are o masă mult mai mare decât discul. Oare aici să fie concentrate wimp-urile? Probabil, dar haloul găzduiește și stele negre alcătuite din materie obișnuită.

Obiectele macho ar putea fi rămășițele răcite ale unor stele mai mari, care s-au stins demult – pitice albe, stele neutronice sau găuri negre. Ar putea fi și găuri negre primordiale datând de la nașterea Universului. O idee răspândită, și anume că macho-urile ar fi pitice brune, niște stele foarte mici care abia luminesc, a fost în totalitate respinsă după ce astronomii italieni au cercetat cu atenție un roi globular de stele orbitând în halo și au găsit mult mai puține pitice brune decât s-ar fi așteptat.

Pe de altă parte, în anul 2000, astronomii britanici au comunicat descoperirea unei pitice albe reci care se îndrepta spre halo urmând o traiectorie neobișnuită. Cum era suficient de rece pentru a nu fi văzută dacă n-ar fi trecut atât de aproape de noi, aceasta se potrivea descrierii unui obiect macho. Fără îndoială există multe stele întunecate în halo, dar sunt oare suficiente pentru a-i justifica masa enormă?

Orice ar fi ele, obiectele macho ar trebui să poată fi zărite atunci când trec prin fața unor stele vizibile dintr-o galaxie apropiată. Ele ar trebui să acționeze ca niște lentile și să mărească rapid strălucirea stelelor din spatele lor. În 1993, mai multe echipe din Franța, SUA și Australia au anunțat că au reușit să detecteze primele obiecte macho cu ajutorul acestei metode. Totuși, pe măsura trecerii timpului, păreau să fie prea puține pentru a justifica o mare parte din materia neagră.

Un alt tip de materie obișnuită care nu se poate vedea în lumină vizibilă, deci neglijată anterior de cercetători, și-a făcut apariția în Univers, la întâmplare. Sateliții cu raze X au descoperit mase uriașe de gaz fierbinte, invizibile dar nu alcătuite din particule exotice, în centrul roiurilor de galaxii, depășind cu mult în masă stelele vizibile, în timp ce radiotelescoapele au detectat hidrogen molecular într-o abundență neașteptată în zonele reci. Chiar și folosindu-se de lumina obișnuită, telescoapele îmbunătățite au descoperit galaxii întregi, foarte puțin strălucitoare și de culoare roșie, pe care nu le observase nimeni până atunci. Dar, din nou, părea puțin probabil că asemenea adaosuri ar putea da socoteală de toată materia absentă.

● Arhitectura cerului

Un alt mod de abordare a acestui mister era să se studieze cum afectează materia neagră distribuția galaxiilor. Marile aglomerări de stele care populează liber Universul sunt grupate în roiuri și roiuri de roiuri. Să presupunem că acestea ar fi dirijate de materia neagră, care le remorchează timp de miliarde de ani. Putem elabora modele computerizate în care o distribuție aleatoare a galaxiilor se transformă gradat într-o structură asemănătoare arhitecturii cerului din zilele noastre.

Se pot face astfel diverse presupuneri cu privire la proprietățile materiei negre, de exemplu dacă este rece sau fierbinte. Pornind de la acestea, se pot genera diferite modele și se poate determina care presupuneri au condus la cea mai realistă imagine a distribuției galaxiilor din prezent. Aceasta ar putea fi o metodă folositoare și pentru descoperirea proprietăților materiei negre.

Prin urmare, în anii 1990, în special în Europa, au fost realizate numeroase programe de modelare cu ajutorul supercalculatoarelor. Filmele rezultate urmăreau să simuleze istoria Universului. Acestea erau foarte reușite, chiar uimitoare, dar nu și convingătoare pentru critici.

Modelul pe care programatorii încercau să-l genereze semăna cu șvaițerul. Natura lacunară a Universului a fost descoperită atunci când astronomii au măsurat distanțele la care se află multe galaxii prin deplasarea luminii lor spre roșu datorată expansiunii cosmice. „Big Blank” (Marele Gol) a fost porecla dată de un jurnalist primului deșert cosmic, descoperit în 1981 de către Robert Kirshner și colegii săi de la Michigan. Era o regiune aproape lipsită de galaxii și cu mult mai întinsă decât oricare alt spațiu vid de acest fel detectat anterior.

Pentru că fusese localizată la mare distanță, dincolo de stelele constelației Boötes (Boarul), a primit numele oficial de Vidul Boötes (Vidul Boarul), deși se întinde dincolo de limitele acestei constelații, având un diametru de circa 500 de milioane de ani-lumină. Întregul Univers observabil este de numai 50 de ori mai mare. O dată cu determinarea distanțelor relative dintre tot mai multe galaxii, au fost detectate spații vide în toate direcțiile. S-a ajuns la concluzia că 90% dintre galaxii sunt concentrate în 10% din volumul Universului, aceasta însemnând că restul este aproape lipsit de materie vizibilă. Acest tip de arhitectură necompartimentată atribuie galaxiilor rolul de pereți despărțitori între spațiile vide de forma unor bule.

Cât despre roiurile de galaxii, propria noastră Cale Lactee arată clar că galaxiile sunt obiecte cosmice masive. În plus față de miriadele de stele, masele lor sunt amplificate de materia neagră care le însoțește. Atracția gravitațională va tinde să le țină unite. La începutul secolului al 20-lea, când micile pete de pe cer au fost, în sfârșit, recunoscute ca fiind galaxii, a fost imediat identificat roiul de stele din constelația Fecioarei (Virgo).

Roiurile de galaxii urmează o scară ierarhică. Vecinele Căii Lactee sunt marea galaxie spiralată Andromeda M31, aflată la 2 milioane de ani-lumină, precum și

un roi de circa 20 de galaxii mici, incluzând Norii lui Magellan. Gravitația ține unit acest modest Grup Local și, de asemenea, îl leagă de Roiul din constelația Fecioarei, unde câteva mii de galaxii sunt răspândite pe o suprafață a cerului de zece ori mai mare decât cea ocupată de Lună. Roiul din constelația Fecioarei aparține la rândul lui Super-roii Local, constituit din numeroase roiuri, și care este la rândul lui legat de alte super-roii.

Împreună cu toate galaxiile din vecinătate, noi „cădem” cu o viteză de 600 de kilometri pe secundă într-o direcție indicată cu aproximație de Crucea Sudului, de un roi masiv numit Marele Atrator. Impulsurile către centrul de masă al Grupului Local, către constelația Fecioarei și către Marele Atrator – toate contribuie la mișcarea Pământului printr-o mare de microunde care umple cosmosul și care oferă un cadru de referință cosmic.

„Cădem” este totuși un cuvânt înșelător în acest context. Distanța până la Marele Atrator crește de fapt datorită expansiunii Universului, deși nu la fel de repede cum ar crește dacă nu i-am simți gravitația. Acest paradox local ilustrează sarcina grea pe care o are gravitația – să dirijeze galaxiile sfidând expansiunea, chiar și cu ajutorul materiei negre.

● Quasarii dau verdictul

Astfel, în timp ce unii experți considerau că modul de distribuire a roiurilor de galaxii a evoluat gradat, prin acumularea formelor mici în altele mari și prin depopularea spațiilor vide de către galaxiile de la periferie migrând către luminile strălucitoare ale roiurilor, alții se declarau împotriva acestei idei. Nu era suficient timp, spuneau ei, pentru a se dezvolta spații vide ca Vidul Boötes sau Marele Atrator. Roiurile trebuie să fi existat încă din perioada timpurie în care s-au format primele galaxii. În acest caz, simulările computerizate ale materiei negre ar putea fi inutile, pentru că se bazează pe ipoteza că galaxiile au apărut într-o distribuție aleatoare, dar uniformă.

Singura cale de a rezolva problema este să aruncăm o privire la galaxiile mult mai îndepărtate. Oare diferențele dintre modul în care ele s-au distribuit sunt semne ale organizării gradate prefigurate de specialiști? La sfârșitul secolului al 20-lea se foloseau tehnici automatizate pentru a măsura simultan distanțele dintre sutele de galaxii prin deplasarea spre roșu a luminii emise de ele. Era un progres asemănător celui înregistrat de biologi, care trecuseră de la identificarea genelor, una câte una, la determinarea întregului genom al unei specii. Doar că acum miza era genetica arhitecturii cosmice.

Studii-mamut au reușit să măsoare, într-o singură noapte, vitezele mai multor galaxii decât măsurase generația anterioară de astronomi într-un an. O echipă australiano-britanică a folosit telescopul anglo-australian din New South Wales pentru a localiza 250 000 de galaxii în zone prestabilite de pe bolta cerească. O altă echipă, americano-germano-japoneză, care lucra cu telescopul Sloan din New Mexico, și-a fixat drept scop să detecteze un milion de quasari în cinci ani.

O primă anticipare a rezultatelor studiilor asupra distribuției roiurilor de galaxii a fost comunicată în 2001, pe baza datelor despre 11 000 de quasari localizați în timpul primei faze a studiului anglo-australian. Quasarii sunt galaxii ce strălucesc puternic datorită materiei absorbite de găurile negre din centrul lor, și de aceea sunt cel mai ușor de observat la cele mai mari distanțe. Cei care simulau pe calculator distribuția materiei negre în Univers se aflau acum în mare încurcătură. Expansiunea Universului permitea ca modelul de distribuție a regiunilor abundente sau sărace în galaxii să fie identic, la cele mai mari distanțe ca și în imediata apropiere.

„Încă de la începutul studiului nostru, am remarcat întotdeauna aceeași capacitate a quasariilor de a forma roiuri”, a afirmat Scott Croom de la observatorul anglo-australian. „Imaginați-vă că acești quasari ar fi, analogic vorbind, stâlpii pentru iluminatul public ce marchează structura unui oraș cum ar fi New York-ul. Este ca și cum am fi vizitat orașul pe când era încă o colonie olandeză și am fi găsit aceeași structură a străzilor ca cea de astăzi.”

● O parte din peisajul cosmic

Ținând cont de rezultatele nesatisfăcătoare cu privire la evoluția roiurilor de galaxii și de toate incertitudinile referitoare la particulele wimp și obiectele macho, cosmologii au pășit în secolul al 21-lea exact ca angajații unei grădini zoologice care n-ar putea preciza dacă viețuitoarele de care se ocupă sunt gândaci sau balene. Să ne amintim că materia neagră are o masă de zece ori mai mare decât materia obișnuită a galaxiilor și roiurilor de galaxii. Dacă s-ar fi supus la vot, s-ar fi putut observa că majoritatea experților favoriza teoria particulelor wimp, însă problemele științifice nu se rezolvă astfel.

Pentru a se consola, astronomii au găsit o nouă metodă de a-și reprezenta materia neagră. Cele mai frumoase efecte ale noii reprezentări sunt date de lentilele gravitaționale. Masa nevăzută concentrată într-un roi de galaxii curbează razele de lumină întocmai ca o lentilă optică nefinisată, producând imagini distorsionate, cu franje și adeseori multiple, ale galaxiilor aflate la distanțe mai mari. Acest fenomen face ca materia neagră să se comporte ca un telescop natural, care ajută la extinderea domeniului telescoapelor construite de oameni. La prima vedere distorsiunile imaginilor par deranjante – până când descoperim că din interpretarea lor se poate deduce modul de distribuire a materiei negre în spațiu.

Tânărul inventator al acestei tehnici a fost francezul Jean-Paul Kneib de la Observatorul Midi-Pyrénées. Pe la jumătatea deceniului 1990, împreună cu câțiva colegi de la Cambridge, el a obținut imagini extraordinare ale unor roiuri de galaxii cu ajutorul telescopului spațial Hubble, ce înfățișau zeci de obiecte evidențiate datorită câmpului lor gravitațional. Kneib le-a folosit pentru a deduce forma și puterea optică a lentilelor naturale. El a dedus grosimentul galaxiilor din fundal și prezența materiei negre în roiul din prim-plan.

Astfel, materia neagră a devenit o parte din peisajul cosmic, împreună cu radio-galaxiile sau cu gazele detectate de razele X. Analiza nu a acordat importanță naturii materiei negre, deoarece s-a măsurat doar acțiunea sa gravitațională sau mareică. În opinia lui Kneib, succesorul telescopului Hubble, telescopul James Webb pentru lumină infraroșie, ce urmează să fie realizat de NASA împreună cu Europa și Canada în 2010, va amplifica uimitor puterea acestei tehnici.

„Studiind roiuri de galaxii aflate la distanțe variabile”, a afirmat acesta, „și sondându-le pe cele mai îndepărtate cu detectori în infraroșu, vom explora legătura dintre materia vizibilă și cea neagră și modul în care a evoluat ea. Vom vedea întreaga istorie a Universului, de la început și până la sfârșit”.

- Pentru fundalul teoretic referitor la particulele wimp, vezi **SPARTICULE**. Pentru o altă sursă, aparent chiar mai importantă, de masă invizibilă din Univers, vezi **ENERGIA NEAGRĂ**.



I NSTITUTUL NEUROLOGIC DIN MONTREAL a fost înființat în 1934 cu fonduri obținute de la Fundația Rockefeller de către Wilder Penfield, un vestit neurochirurg al vremii. În clădirea cu opt etaje și turn ascuțit în mijloc, locuitorii din Québec mergeau ca să le fie tăiate bucăți din creier. Nu este nicio exagerare, deoarece la jumătatea secolului al 20-lea era la modă extirparea unor cantități mari de materie cenușie aproape la fel de ușor ca scoaterea apendicelui, sau folosirea bisturiului pentru a reteza conexiuni din interiorul creierului.

Asemenea operații erau făcute nu doar pentru îndepărtarea tumorilor sau ameliorarea epilepsiei severe, ci și pentru a trata unele tulburări mintale, cum ar fi depresia. Penfield era extrem de atent și folosea un fir electric pentru a sonda creierul expus, ca să fie sigur că taie porțiunea care trebuie. Uneori când atingea marginea creierului pacientului – care era conștient – acesta spunea că a avut un flashback. De exemplu: „Mama îi spune fratelui meu că și-a luat haina pe dos.”

Donald Hebb de la Universitatea McGill a lucrat cu Penfield și cu pacienții săi. Acesta își dorise să devină romancier și studiasse în acest scop psihologia. Însă

s-a implicat în studierea mecanismului memoriei. La Harvard, fusese studentul lui Karl Lashley, care căuta în zadar arhiva memoriei în creier, tăind porțiuni din ce în ce mai mari din creierul cobailor, fără a le afecta însă capacitatea de a executa sarcini învățate. La Montreal, Hebb a observat același efect misterios și în cazul oamenilor.

„Am studiat câțiva dintre pacienții cărora li se extirpase o porțiune mare din creier”, a spus Hebb ulterior, „și am observat că nu era nimic în neregulă cu ei. Nimic în neregulă cu memoria și nici cu inteligența lor și nici starea de conștiință nu era alterată. Era ceva cu adevărat uimitor. În anii ce au urmat am dezvoltat ceea ce ar putea fi numită, cred că pe bună dreptate, o teorie trăznită, care nu era însă lipsită de suport. Teoria susținea indirect că gândirea constă doar în interacțiunile dintre celulele creierului.”

Esența teoriei lui Hebb a fost prezentată într-un mic volum, numit *Organizarea comportamentului* (*Organization of Behavior*) (1949). Limbajul lui era diferit de cel al psihologiei timpului său, care se referea la ego și identitate în sensul freudian, sau la schemele condiționării ale lui Ivan Pavlov. Hebb scria, în schimb, despre fibrele nervoase, sau axonii care leagă celulele creierului între ele. „Când axonul unei celule A este suficient de aproape pentru a excita o celulă B și apoi participă în mod repetat, perseverent la declanșarea acestui fenomen, va avea loc un proces de creștere sau o modificare metabolică într-una dintre celule sau în ambele, astfel încât eficiența lui A, ca celulă generatoare de impuls pentru celula B, va crește.”

Hebb știa foarte bine că legătura dintre două celule nervoase se face la nivelul sinapsei, unde fibra nervoasă a primei celule trimite semnale regiunii receptoare a celei de-a doua celule, celula-țintă. El a speculat asupra creșterii butonului sinaptic, cum îl numea el, ca fiind mijlocul prin care s-ar putea mări eficiența legăturii. Însă, cum nu voia să se bazeze exclusiv pe anatomie, a avut grijă să-și formuleze „postulatul neurofiziologic” în termeni destul de generali.

Ce conta mai mult pentru el era ideea că o amintire ar trebui să reverbereze un anumit timp în creier, ca apoi să fie brusc uitată, sau să se păstreze în legăturile dintre celule, ca ceva învățat. Aceasta corespundea cu deosebirea, întâlnită în viața de zi cu zi, dintre memoria pe termen scurt și cea de lungă durată, recunoscută de psihologi încă din secolul al 19-lea. Putem căuta un număr de telefon pe care îl vom păstra în memorie câteva minute – timpul cât îl formăm – sau o zi, sau întreaga viață atunci când este important pentru noi.

Hebb a subliniat rolul emoției în procesul învățării. Foamea îl face pe cobai să-și amintească drumul printr-un labirint, care îl duce la mâncare. Oamenii rețin informații care îi ajută să rămână în viață, sau care îi interesează, îi excită sau îi înspăimântă. Aspectul emoțional a fost dramatizat ulterior când s-a dovedit că milioane de oameni își aminteau cu exactitate ce făceau când au auzit, în 1963, că președintele Kennedy a fost împușcat. Pentru o generație ulterioară, vestea atacului aerian din 2001 asupra „Gemenilor” din New York a avut același impact.

Un anumit mecanism al creierului dictează „imprimă aceasta”. Un amănunt ocazional din viața de zi cu zi care în mod normal nu ar fi reținut, este păstrat permițând astfel o evaluare ulterioară. Foarte probabil un strămoș din paleolitic a trebuit să reexamineze îndeaproape acel moment în care un leopard aproape l-a luat prin surprindere și să își dea seama unde anume a greșit sau ce semne ale pericolului i-au scăpat.

În 2000, Seth Grant, un specialist în neuroștiințe de la Edinburgh, investiga un mecanism molecular important care este prezent în sinapsă, la suprafața celulei receptoare. Împreună cu colaboratorii săi, el a descoperit că acesta este alcătuit din nu mai puțin de 77 de molecule proteice. Conform interpretării lui Grant, aceste proteine cooperează pentru a înregistra semnalele chimice primite de la axonul celulei nervoase transmițătoare și, atunci când este necesar, pentru a consolida legătura. Proteinele realizează exact acel „proces de creștere sau modificarea metabolică” de care pomenea Hebb.

Dacă se inhibă activitatea uneia dintre proteinele mecanismului la cobai, fie printr-o mutație genetică, fie prin blocare chimică, capacitatea de învățare și de memorare a animalelor va scădea. Există confirmări că același mecanism funcționează și în cazul oamenilor. În cel puțin trei cazuri, a observat Grant, defectele ereditare asociate cu dificultăți de învățare sunt mutații ale genelor care comandă producerea proteinelor care sunt necesare mecanismului.

Pe scurt, totul era limpede, cu excepția numelui acestui important mecanism molecular. A primit denumirea formală de receptor pentru N-metil-D-aspartat. Grant a propus redenumirea lui în onoarea canadianului a cărui idee a inspirat, timp de jumătate de secol, mulți specialiști în domeniul cercetării creierului. El l-a numit hebbosom.

Grant a sugerat că diferite tipuri de hebbozomi sunt prezente la nivelul sinapselor ce realizează legătura dintre celulele creierului. Ele identifică modele de activitate în ambele celule și apoi modifică în mod continuu calitatea legăturilor. Însă, raza lor de acțiune nu se limitează doar la două celule. Într-un anume mod, ele orchestrează legături care determină lungi traiectorii în creier, asemănătoare cu ideea lui Hebb de reverberație.

„Oamenii de știință interesați de procesul învățării și al memorării îl menționează pe Hebb sau postulatul său aproape zilnic”, a observat Grant. „Cu toate acestea, el a rămas necunoscut publicului larg. Îndrăznesc să cred că istoricii viitorului vor îndrepta lucrurile și îl vor situa, printre psihologii secolului al 20-lea, cel puțin alături de Freud și de Pavlov.”

● Cum învață melcii de mare

Internetul a fost creat ca o modalitate de a menține comunicațiile vitale, în eventualitatea unui război nuclear, prin găsirea căilor de transmitere cu ajutorul legăturilor care ar rezista atacului. Atunci când Lashley tăia porțiuni din creierele

cobailor săi, în încercarea de a afla unde se păstrează amintirile, nereușita lui se datora unei capacități asemănătoare a creierului de a folosi rămășițele unei rețele de celule interconectate. Mai mult decât atât, testele de memorie pe care le folosea erau asociate în special unor proceduri, iar în astfel de cazuri (astăzi se cunoaște acest lucru) amintirile sunt înscrise în zonele creierului implicate direct în perceperea mediului și în controlul mușchilor. Dacă acestea erau îndepărtate, atunci animalul era complet privat de capacitățile sale în privințele respective, ceea ce ar fi anulat oricum testele lui Lashley.

Însă ceea ce majoritatea oamenilor înțelege prin memorie nu constă în amintirea implicită a modului în care, de exemplu, se conduce mașina, ci în amintirea chipurilor, locurilor, obiectelor și informațiilor. Un neurochirurg a descoperit, din întâmplare, zonele creierului care au un rol important în întipărirea unei amintiri explicite de acest tip. În 1953, în SUA, William Scoville a tratat un tânăr – cu numele de cod H. M. – ce suferea de epilepsie severă, îndepărtând porțiuni ale lobilor temporali din vecinătatea urechilor. În timpul intervenției, o regiune dinspre centrul creierului, situată în partea inferioară a fiecărui lob, numită hipocamp, a fost grav afectată.

După operație, H. M. nu mai avea memorie de lungă durată de tipul explicit. Deși inteligent, politicos și aparent normal, el nu putea să recunoască o persoană cu care vorbise cu o zi în urmă. Putea citi aceeași revistă de nenumărate ori, întotdeauna cu același interes. El era tulburat, conștient fiind de ceea ce i se întâmpla. „Este ca și cum te-ai trezi din vis”, spunea el. Tot timpul, ar fi trebuit să precizeze.

Tragedia personală a lui H. M. a reprezentat o cheie a problemei memoriei, pe care oamenii de știință nu au putut-o ignora, când a fost dezvăluită, în 1957. Printre primii care au urmat această pistă a fost Eric Kandel, un tânăr cercetător de origine austriacă ce lucra la Institutul Național de Sănătate din Bethesda, Maryland. Însă în urma unor experimente dificile pe mamifere mici, în care a încercat să detecteze semnale electrice în hipocamp, el nu a găsit nicio particularitate care ar putea explica rolul acestuia în memoria de lungă durată.

Kandel și-a dat seama că memoria nu depinde de comportarea celulelor individuale, ci de modificările legăturilor lor. Era, de asemenea, sigur că creierul unui mamifer este mult prea complicat pentru a-și dezvălui cu ușurință secretele. Descoperirile precedente despre sistemul nervos fuseseră făcute cu ajutorul animalelor marine nevertebrate, iar Kandel a început să caute o creatură simplă potrivită pentru a studia ce se produce în sinapse în timpul procesului de învățare. Experții în domeniu au încercat să-l facă să se răzgândească.

„Mi s-a spus că puțini neurofiziologi care se respectă ar abandona studiul învățării la mamifere pentru a lucra pe un nevertebrat”, își amintea Kandel. „Oare îmi compromiteam cariera? Și mai îngrijorătoare pentru mine erau îndoielile exprimate de niște psihologi foarte bine informați care erau sceptici că s-ar putea descoperi ceva interesant despre învățare și despre memorie la un simplu animal nevertebrat.”

Kandel și-a continuat cercetările cu încăpățănare. El a avut în vedere langusta, homarul, musca și viermele înainte de a se hotărî pentru melcul de mare gigant *Aplysia californica*. Sistemul său nervos are un număr redus de celule neobișnuit de mari – 20 000, comparativ cu cel al omului – 100 de miliarde. El are, de asemenea, și reflexul de a-și retrage branhiile atunci când sunt atinse. Dacă atingerea ușoară se repetă fără a-i provoca vreun rău, această reacție nu mai este la fel de promptă. Însă o atingere în forță amplifică reflexul și repetarea face ca reacția puternică să devină obișnuită printr-un proces de învățare rudimentar.

În 1962, Kandel a mers la Paris pentru a afla mai multe despre *Aplysia* de la Ladislav Tauc – unul dintre puținii biofizicieni specializați în studiul acestui animal. Împreună ei au descoperit modificări pronunțate la nivelul sinapselor în timpul procesului de învățare. Kandel a continuat experimentele pe melc până la sfârșitul secolului – la Universitatea New York, și apoi la Universitatea Columbia. El și colaboratorii săi au obținut informații care au constituit fundamentul unui nou domeniu de cercetare a memoriei din perspectiva biochimică. Așa cum se întâmplă de obicei cu marile descoperiri, și cea a lui Kandel poate fi formulată concis.

Memoria pe termen scurt se bazează pe adăugarea unor grupări fosfat în structurile proteice numite canale ionice care controlează cantitatea de calciu la nivelul sinapsei. Cu cât este mai mult calciu, cu atât crește cantitatea de substanță transmițătoare eliberată la nivelul sinapsei pentru a stimula celula-țintă. Îmbunătățirea rezultantă a legăturii este temporară.

Pe de altă parte, memoria de lungă durată se bazează pe formarea unor noi proteine pe suprafața celulei-țintă. O proteină semnalizatoare, denumită protein-kinaza A, se deplasează către nucleul celulei și provoacă modificări ale activității genelor care comandă producerea unor numeroase alte proteine, intensificând furnizarea unora și reducând-o pe a altora. Eliberate în sinapsă, proteinele nou formate modifică structurile de acolo astfel încât legătura să devină mai puternică pentru o perioadă mult mai lungă de timp.

În anii 1990, progresul biologiei moleculare i-a permis lui Kandel și echipei lui să revină la studiul proceselor mult mai complexe ale memoriei la șoareci. Ei au confirmat faptul că atât la mamifere cât și la melcul de mare funcționează aceleași mecanisme ale memoriei de scurtă și de lungă durată. Un instrument deosebit de puternic al cercetării a fost utilizarea așa-numiților șoareci knock-out a căror genă care codifică o anumită proteină poate fi dezactivată cu ajutorul ingineriei genetice. Aceasta a făcut posibilă analiza, una câte una, a tuturor proteinelor implicate în restructurarea sinapselor în timpul procesului de memorare.

Într-un fel, analiza moleculară a devenit mult prea înfloritoare. Zeci de proteine au fost identificate în laboratorul lui Kandel și în alte laboratoare din lume, toate implicate în procesul memoriei. Așa cum am menționat anterior, un mecanism molecular sinaptic analizat la Edinburgh avea 77 de molecule proteice diferite.

Imaginea care se prefigura era atât de bulversantă încât unii specialiști chiar au implorat încetinirea ritmului descoperirilor din biochimie.

Era stringent necesară o minimă înțelegere a modului în care interacționează toate acele molecule atunci când este întipărită o amintire. Primul indiciu a sosit curând în secolul al 21-lea din cercetările asupra chimiei uitării.

● Molecula uitării

Oamenii folosesc tot felul de trucuri pentru a-și aminti anumite lucruri. Când Paul McCartney s-a trezit într-o dimineață cu melodia secolului răsunându-i în cap, ca să o rețină, a început să cânte „Scrambled eggs, oh my darling how I love your legs”¹. Abia după aceea, versurile au fost transformate în „Yesterday, all my troubles seemed so far away”². Sau imaginați-vă o plimbare pe strada Gorki în care încercați să vă amintiți obiectele din vitrine. Aceasta era una dintre metodele folosite de un bărbat studiat de neuropsihologul Alexander Luria din Moscova, al cărui nume de cod era S. Acest bărbat putea, de exemplu, să memoreze tabele întregi de numere sau versuri într-o limbă pe care nu o cunoștea și apoi să și le amintească după mai mulți ani.

S. nu era încântat de abilitatea lui. Uncori scria pe hârtie ceea ce memorase, apoi ardea paginile sperând că magia va funcționa și va reuși să uite. O jumătate de secol mai târziu, analizând retrospectiv, puteai lansa presupunerea că o substanță chimică numită PP1 nu funcționa normal în creierul lui S.

Uitarea este o realitate necesară a vieții. Pentru ce să ne amintim chipurile tuturor celor pe lângă care am trecut pe stradă cu 10 ani în urmă? Dacă creierul n-ar elimina informațiile inutile, s-ar supraaglomera. Dar uitarea lucrurilor importante pe care înainte le știam este, de asemenea, o problemă, mai ales pentru persoanele vârstnice. Așa cum repetarea ne ajută să învățăm și să ne amintim, tot așa neglijarea amintirilor duce la estomparea lor.

Pentru unii, a memora tot felul de informații este o metodă de a deveni faimoși și bogați prin intermediul emisiunilor concurs de la TV – care sunt echivalentul modern al vodevilului, spectacol în care o persoană ca S. își putea câștiga existența pe post de „Omul-Memorie”. Specialiștii în neuroștiințe elvețieni au crescut „șoareci-memorie”, care își puteau aminti lucruri pe care alți șoareci le uitau, folosind ingineria genetică.

Isabelle Mansuy și colegii ei de la Școala Tehnică Superioară din Zürich au făcut comparație între animalele cu capacități deosebite și cele fără, punându-le să execute anumite sarcini care constau în recunoașterea unor obiecte văzute anterior sau în regăsirea drumului corect printr-un labirint subacvatic către platforma de ieșire. Șoarecii cu memoria îmbunătățită au îndeplinit sarcina mult mai bine decât

¹ „Omletă, draga mea, ce mult îmi plac picioarele tale”.

² „Ieri, toate necazurile mele îmi păreau atât de departe”.

rudele lor care erau normale, în perioada tinereții, iar diferența s-a accentuat pe măsură ce animalele îmbătrâneau, și calitatea memoriei celor normale scădea.

Mai demult, astfel de animale ar fi fost doar curiozități săcâitoare, la fel ca și Tovarășul S. al lui Luria. Însă în era biologiei moleculare, Mansuy putea să indice cu exactitate care era avantajul „șoarecelui-memorie”. Cu ajutorul ingineriei genetice s-a descoperit o genă care codifică producerea unei substanțe care inhibă activitatea unei anumite enzime, un catalizator molecular folosit la nivelul creierului.

Aceasta este protein fosfataza 1, sau prescurtat PP1. Experimentatorii puteau bloca activitatea proteinei după cum doreau, hrănind sau nu șoarecii cu o anumită substanță chimică cu rol în activarea genei respective. Experimente atent elaborate au relevat că PP1 este molecula uitării.

Ea este activă chiar și în timpul procesului inițial de învățare. Mai mult decât atât, PP1 pare să explice una dintre primele concluzii ale specialiștilor în psihologie educațională din secolul al 19-lea, și anume că se învață mai ușor în ședințe scurte, cu pauze între ele, decât în ședințe lungi cu aceeași durată totală. Șoarecii lui Mansuy, care au fost modificați genetic astfel încât să aibă un deficit de PP1, obțineau rezultate la fel de bune indiferent de pauzele mai lungi sau mai scurte dintre ședințe. Șoarecii normali, asemenea oamenilor, obțineau rezultate mai bune atunci când pauzele erau mai lungi.

Lupta dintre moleculele care spun „ține minte” și PP1 care spune „uită” nu are sfârșit. În termeni chimici, moleculele care ajută memorarea încearcă să adauge fosfat altor proteine, iar PP1 încearcă să îl îndepărteze. O pauză de PP1 pare a da memorării șansa de a câștiga această încăierare chimică.

La șoarecii mai bătrâni, cu vârsta între 15–18 luni, mutații cu PP1 dezactivată își puteau aminti drumul prin labirintul subacvatic după o lună, în timp ce unii dintre cei normali îl uitau în 24 de ore. Aceste experimente au născut speranța în găsirea unor metode practice de a diminua pierderea memoriei la persoanele vârstnice.

● Studiu de avangardă

Descoperirea rolului moleculei PP1 nu a fost o întâmplare norocoasă. A fost doar unul dintre rezultatele unui program de durată care, cu ajutorul șoarecilor modificați genetic, sau transgenici, studia rolul diferitelor fosfataze din creier. Iar preocupările echipei din Zürich depășeau cu mult chimia memoriei. S-au extins și la preocupările clasice ale psihologiei, incluzând, de exemplu, consecințele cumplite ale privării de afecțiune din copilărie. Studii asemănătoare au atins chiar miezul vechii probleme – natura versus educație, observându-se în mod direct cum interacționează genele și mediul în dezvoltarea creierului unui animal, de la stadiul embrionar la cel adult.

„Acesta pare să fie un studiu de avangardă în domeniul cercetării creierului”, a afirmat Isabelle Mansuy. „Folosim noua posibilitate de a activa sau dezactiva cu

precizie genele, la animalele transgenice, pe care o combinăm cu metode tradiționale ale psihologiei și ale științelor comportamentale. Eu cred că multe fenomene mintale care afectează oamenii în viața lor de zi cu zi – emotivitatea, stresul, teama și agresivitatea – vor deveni gradat mai ușor de înțeles în termeni moleculari riguroși.”

- Pentru alte aspecte ale cercetării creierului și comportamentului, vezi CONEXIUNILE CEREBRALE, IMAGINILE CEREBRALE, RITMURI CEREBRALE și VORBIREA.

MINERALE ÎN SPAȚIU



De la praf stelar la cristale și pietre

B IUTIERII VĂ POT SPUNE că specia transparentă a pietrei de culoare verde, olivina, se numește, de asemenea, peridot. Specimenul de olivină mai auriu la culoare se numește crisolit, iar alchimiștii Evului Mediu l-au asociat cu semnul virginal al zodiacului, Fecioara. La aceasta s-o fi gândit Shakespeare când a scris replica lui Othello despre Desdemona, după ce acesta a ucis-o?

*... had she been true,
If heaven would make me such another world
Of one entire and perfect chrysolite,
I'd not have sold her for it.¹*

Aceste cuvinte au o rezonanță mult mai remarcabilă pentru specialiștii contemporani în științele Pământului. Vorbind despre o lume făcută din crisolit, Othello anticipează opinia actuală că olivina este componentul solid principal al planetei noastre, după cum o indică viteza cu care undele seismice se propagă prin ea.

Deși olivina este mama bazaltului care pavează fundul oceanului, ea este în mare parte ascunsă la mari adâncimi. Olivina poate apărea în zonele fierbinți vulcanice cum sunt nisipurile din Hawaii, sau se poate strecura printre plăcile tectonice ale litosferei. Insula Zebirget (St. John's) din Marea Roșie este sursa clasică de olivină gemă. O rocă lunecoasă, numită serpentin, ce se găsește în forme multicolore

¹ ...de ar fi fost fidelă, / Dacă cerul ar crea pentru mine o altă lume / Dintr-un crisolit întreg și perfect, / N-aș fi vândut-o pentru ea.

în peninsula Lizard, cel mai sudic punct al Angliei, este de fapt olivină alterată de apă. Plantele rare din familia ierbii negre ce cresc acolo (Lyonesse, D-na. D.F. Maxwell și alte subspecii neobișnuite) trebuie să tolereze cantitățile anormale de magneziu din sol, care sunt moștenite de la olivină.

Fiind o materie de o simplitate primordială, olivina este alcătuită din silicați (un atom de siliciu plus patru atomi de oxigen) legați între ei de atomi de magneziu și de fier. Atomii metalici se pot substitui între ei ocazional, deoarece au aproximativ aceeași dimensiune. Toate aceste elemente sunt produse principale ale „bucătăriilor” nucleare ale stelelor și vor avea tendința să se combine în spațiul interstelar. Dar nimeni nu a bănuț proveniența cristalelor de olivină până când Observatorul Spațial European în Infraroșu (1995–1998) a descoperit urme de forsterit, o formă cristalină a olivinei, în lumina infraroșie din jurul unei stele aflate la 500 de ani-lumină distanță.

Steaua este situată pe cer în apropierea Crucii Sudului și se numește HD 100546. Este o stea tânără, de numai câteva milioane de ani. Absorbțiile ultraviolete specifice observate anterior de Exploratorul Internațional în Ultraviolet, un proiect comun al NASA, al Agenției Spațiale Europene și al Marii Britanii, au fost interpretate ca un rezultat al cometelor sau asteroizilor care cădeau pe steaua respectivă.

„Un nor imens de comete pare că înconjoară această stea tânără”, a afirmat Christoffel Waelkens de la Leuven, Belgia, conducătorul echipei ce a descoperit cristalele de olivină în preajma stelei HD 100546. „Noi credem că atât Pământul, cât și celelalte planete s-au format dintr-un astfel de nor de comete aflat în vecinătatea Soarelui tânăr. Acum ne comparăm rezultatele cu cele ale colegilor care studiază mineralele din cometele și meteoriții din apropierea Pământului.”

În 1997, când cometa Hale-Bopp a trecut pe lângă Soare, oferind un minunat spectacol vizibil cu ochiul liber, ea a fost, de asemenea, examinată de telescopul Observatorului Spațial European în Infraroșu. Cu acea ocazie au fost detectate mici cristale de forsterit în coada de praf a cometei. Deoarece cometele reprezintă resturi de materie brută din care sunt alcătuite planetele, rămase de la formarea sistemului solar, Hale-Bopp a oferit o conexiune conceptuală în mineralogia originilor noastre.

„O componentă-cheie a prafului stelar și al cometelor este olivina în formă cristalină”, a constatat Jacques Crovisier de la Observatorul Paris-Meudon. „Ea este, de asemenea, unul dintre constituenții principali ai interiorului Pământului. Acum putem spune cu certitudine că stăm pe un morman solidificat de praf mineral, ca acela conținut de cometele ce roiau în jurul Soarelui cu 4 500 de milioane de ani în urmă.”

Rens Waters de la Universitatea din Amsterdam, care a descoperit cristale de olivină atât în vecinătatea stelelor tinere cât și a celor bătrâne, consideră că observațiile în infraroșu au generat o „revoluție a cristalului” în astronomie. „Credeam că acei compuși ai siliciului asemănători rocilor, din afara sistemului nostru pla-

netar, există doar în stare amorfă, fără a avea o structură cristalină. Acum putem examina în laborator semnăturile în infraroșu ale cristalelor cunoscute – forsteritul, enstatitul etc. – și să descoperim aceleași semnături în spațiu. Putem spune că am inaugurat o nouă știință, astromineralogia.”

● Pietre lichefiate și carbonați liberi

Era nevoie de încă un pas pentru a se face conexiunea cu olivina specifică Pământului. Cristalele minuscule descoperite de astronomi sunt un punct de plecare insuficient pentru procesul de formare a planetelor în mediul violent și măturat de vânt al Soarelui nou-născut. O materie brută mai plauzibilă apare în pietrele de olivină, de mărimea bobului de mazăre. Acestea se numesc condrule și se găsesc din abundență în condriți, cei mai primitivi meteoriți căzuți din spațiul interplanetar și despre care se crede că sunt relicve din vremea formării Pământului și a altor planete.

Cu peste 100 de ani în urmă, Henry Sorby de la Sheffield, inventatorul geologiei microscopice, a descris în mod competent condrulele drept „picături lichefiate într-o ploaie incandescentă”. Înainte ca formarea planetelor să înceapă cu adevărat, praful de olivină trebuia să fie „copt” la temperaturi înalte pentru a forma condrulele solide. Ele se topeau foarte repede, în câteva secunde sau minute, deoarece elementele volatile ce se găseau în praf, cum ar fi sulful și potasiul, nu aveau timp să se elibereze. Oamenii de știință care au încercat să explice formarea condrulelor au menționat explozii solare violente, unde de șoc sau fulgere cosmice.

Conform unei ipoteze de ultimă oră, la apariția condrulelor se poate să fi contribuit exploziile de raze gama. În fiecare zi sateliții detectează fascicule de raze gama și de raze X în exploziile uluitoare din galaxiile îndepărtate. Durata exploziei principale, de aproximativ un minut, este suficientă pentru a se forma condrulele. Brian McBreen și Lorraine Hanlon, astronomi de la Colegiul Universitar Dublin, au calculat că o explozie de raze gama ce are loc cam la 300 de ani-lumină distanță ar produce suficiente condrule pentru a forma zeci de planete ca Pământul. Absorbția razelor X de către atomii de fier ai olivinei ar fi fost principala sursă de încălzire. Dacă este așa, atunci dovada primei explozii de raze gama înregistrată este scrisă în pietre.

„Credem că o explozie de raze gama s-a produs în apropiere într-un moment critic din timpul nașterii sistemului solar”, a explicat Hanlon. „Radiația sa intensă a determinat fuziunea particulelor minerale minuscule în pietre voluminoase, potrivite pentru a forma planete ca Pământul. Doar un număr mic de stele și de sisteme planetare nou formate ar putea beneficia de o asemenea încălzire accidentală. Dacă avem dreptate, planetele asemănătoare Pământului s-ar putea să fie mai rare decât își închipuie colegii noștri.”

Carbonații aflați din abundență pe Pământ, de exemplu în munții calcaroși, sunt constituiți din dioxid de carbon și din alte materiale care se dizolvă în apă lichidă.

Când s-au descoperit carbonați și în unii meteoriți, cercetătorii au presupus că aceștia provin de pe o planetă cu apă. Însă deducția lor a fost infirmată când Observatorul Spațial în Infraroșu a descoperit carbonați în spațiul din jurul stelelor pe cale de dispariție numite nebuloasa Bug și nebuloasa Red Spider.

Rezultă că Mama Natură mai are și alte trucuri pe care chimiștii nu le cunosc. „Cantitatea de carbonați detectată este echivalentă cu cel puțin 30 de mase ale Pământului, mult prea mare pentru a fi rămășița unui ipotetic sistem planelar”, a observat Ciska Kemper de la Amsterdam. „Formarea carbonaților ar putea fi mai simplă decât s-a crezut până acum.”

● Vor fi folositoare mineralele?

Tentativele de a identifica diamante, cristale de carbon pur, în spațiul interstelar erau în cel mai bun caz ambigue la începutul secolului al 21-lea. O semnătură de 21 de microni, observată cu telescopul spațial în infraroșu, putea fi interpretată drept diamante deteriorate, conform astronomilor francezi, sau drept carbon în forma sa de minge de fotbal – fullerenă sau buckysferă, în viziunea colegilor spanioli. Sau putea fi grafit, după spusele unui specialist din Canada. Dar nimeni nu se îndoia că diamantele existau undeva în spațiu, deoarece în meteoriți se găseau diamante foarte mici. După cum a afirmat Edward Anders de la Chicago, „abia s-ar putea face din ele inele de logodnă pentru bacterii”. Chiar și așa, acestea au născut fantezii cu privire la un Eldorado din spațiu.

Rocile de pe alte planete din Sistemul Solar seamănă în linii mari cu mineralele obișnuite de pe Pământ și din meteoriți. Mostre din rocile de pe Lună, aduse pe Pământ de astronauții americani și de sondele sovietice, conțineau cristale necunoscute până atunci, dar care nu constituiau surprize mineralogice majore. Ele i-au mulțumit și pe cei care-și imaginau că este posibilă desfășurarea unor procese tehnologice industriale pe Lună sau pe orbita ei. Solul lunar ar putea fi prelucrat foarte ușor, cu ajutorul energiei solare, pentru a se obține fier, aluminiu, titaniu, siliciu și oxigen. Transformarea în ceramică și sticlă este o altă opțiune. Apa ar trebui să provină din alte surse, de la mare depărtare – din inelele lui Saturn, de exemplu.

Unii asteroizi și meteoriți conțin mase de minereu de fier, bogat în nichel și cobalt. Primul contact al strămoșilor noștri cu fierul a survenit o dată cu descoperirea meteoriților. În anii 1970, Michael Gaffey și Thomas McCord de la Universitatea din Hawaii au calculat că, pe termen lung, s-ar cheltui mai puțină energie pentru a aduce o tonă de fier gata extras din minereu de pe un asteroid bine amplasat, decât pentru a-l obține dintr-un minereu de fier de calitate superioară într-un furnal terestru.

Pentru comoditate, fierul ar fi adus într-o formă spumoasă, cu proprietățile unei aripi, ce ar putea să traverseze în siguranță atmosfera Pământului și apoi să plutească pe ocean după amerizare. Atunci când asemenea fantezii îndrăznețe vor

fi din nou la modă, astromineralogia va redeveni subiectul preferat atât al inginerilor și metalurgistilor, cât și al astronomilor și specialiștilor în științe spațiale.

- *Vezi, de asemenea, MOLECULE ÎN SPAȚIU, CRISTALE DE PLASMĂ, PĂMÂNTUL, COMETELE ȘI ASTEROIZII, precum și EXPLOZIILE DE RAZE GAMA.*

MIȘCĂRILE PLĂCILOR TECTONICE



Un mecanism stâncos remodelează scoarța terestră

EXPEDIȚIA ÎN JURUL LUMII a navei de cercetare *Dana*, dintre anii 1928 și 1930, a fost finanțată din profiturile obținute din vânzarea berii daneze. Aceasta explică de ce atunci când cercetătorii de la bordul vasului au identificat în Oceanul Indian un lanț muntos subacvatic pe direcția Sud-Est de la Golful Aden spre ieșirea din Marea Roșie, ei l-au numit, plini de recunoștință, dorsala Carlsberg. Pentru cercetătorii care investigau scoarța terestră, acea ciudată proeminență bazaltică a devenit echivalentul Insulelor Galapagos ale lui Charles Darwin, anunțând o revoluție în știință.

Dorsala Carlsberg era, la vremea aceea, abia a doua descoperire de acest gen. Cu câțiva ani în urmă, vasul de cercetare german *Meteor* explorase o dorsală similară în mijlocul Atlanticului, inițial descoperită de ambarcațiunile care întindeau cablu de telegraf peste ocean în secolul al 19-lea. Folosind generatoarele de ultrasunete proiectate pentru urmărirea submarinelor, dar adaptate pentru a funcționa ca sonde acustice hidrografice, cercetătorii marini au revelat din ce în ce mai multe dorsale medio-oceanice, fiecare reprezentând un lanț muntos. În anii 1960, acestea erau cunoscute deja în toate oceanele lumii, având o lungime totală de 65 000 kilometri, și modificaseră astfel toată geografia.

Dorsala Carlsberg a arătat detalii și mai subtile. Mai întâi, în anii 1933–1934, o expediție britanică de pe vasul *John Murray* a descoperit că aceasta era de asemenea un rift. Semăna neobișnuit de mult cu Marele Rift African din vecinătatea Africii de Est, având marginile proeminente și o albie adâncă în mijloc.

În 1962, Drummond Matthews, un cercetător de la Cambridge, se afla în zona Oceanului Indian la bordul unei ambarcațiuni împrumutate, *Owen*. Aceasta tracta un instrument magnetic pe când traversa oceanul pe deasupra dorsalei

Carlsberg. Magnetometrele de precizie, create inițial pentru a detecta carcasele de oțel ale submarinelor scufundate, erau la acea vreme o inovație în geofizică.

În alte locuri, magnetometrele identificaseră structuri neobișnuite de benzi ale câmpului magnetic de pe fundul oceanului, care indicau că magnetismul era uneori mai puternic, alteori mai slab. Expedițiile americane studiaseră mari suprafețe ale Oceanului Pacific, fără să înțeleagă ce însemnau acele structuri de benzi detectate. Matthews a hotărât să întreprindă o cercetare amănunțită a unei părți din dorsala Carlsberg. A înregistrat din nou câmpuri magnetice mai puternice și mai slabe, iar când s-a întors la Cambridge i-a încredințat datele unui doctorand, Fred Vine, pentru ca acesta să încerce să le interpreteze.

Nu cu mult timp în urmă, Vine îl auzise pe un profesor vizitator de la Princeton, Harry Hess, vorbind, la un congres de geologie al studenților de la Cambridge, despre extinderea platformei oceanice. Acesta sugera că roca ce erupe din dorsalele medio-oceanice se va extinde spre exterior de ambele părți, făcând oceanul să crească treptat în dimensiune. Era o ipoteză fără niciun argument care să o justifice și cu foarte puțini susținători, cu atât mai puțin în țara lui Hess. Dar, studiind înregistrările câmpului magnetic din zona dorsalei Carlsberg, Vine a avut o idee strălucită.

Dacă roca topită iese la suprafață printr-o dorsală medio-oceanică și apoi se răcește, ea se magnetizează datorită câmpului magnetic predominant, ceea ce duce la o creștere a intensității câmpului magnetic măsurate de ambarcațiunile care navighează deasupra ei. Mai devreme în același secol, Bernard Brunhes din Franța și Motonori Matuyama din Japonia au descoperit că Pământul își inversează magnetismul din când în când, astfel încât își schimbă între ei polii magnetici nord și sud. Rocile care s-au răcit în timpul unei perioade de magnetism inversat se vor magnetiza invers, modificând câmpul magnetic al Pământului măsurat de o ambarcațiune care trece pe deasupra lor.

La teoria expansiunii platformei oceanice spre exterior pornind de la dorsalele medio-oceanice, propusă de Hess, Vine a adăugat această noțiune de magnetizare în timpul răcirii. Ideea lui era că fundul mării se comportă ca un magnetofon, iar zonele sale cu magnetism mai slab sau mai puternic pot da detalii despre formarea lor la momente diferite. „Dacă apare fenomenul de extindere a fundului oceanului”, a scris Vine într-o lucrare de referință, „blocuri de materie magnetizată normal și invers s-ar depărta de centrul dorsalei și s-ar așeza paralel cu muchia acesteia”.

Vine își amintea ulterior că atunci când a arătat proiectul său unui geofizician marin de la laboratorul Universității Cambridge, „mi-a aruncat doar o privire și a continuat să vorbească despre altceva”. Conducătorul laboratorului, Edward Bullard, a avut o atitudine mai puțin descurajantă, dar a refuzat să-și pună numele pe lucrare. Pentru ca o asemenea teorie nebunească a unui doctorand să aibă șanse de publicare, ar fi fost necesar sprijinul unei persoane respectabile. Matthews, care oferise datele măsurătorilor câmpului magnetic din zona dorsalei

Carlsberg, a fost de acord să fie co-autor al lucrării respective, dobândindu-și astfel propriul loc în istoria cercetării științifice.

● Lumea s-a întors cu susul în jos

Imediat după publicare, în 1963, lucrarea lui Vine și Matthews a fost întâmpinată cu o tăcere de gheață din partea experților în domeniu. Cum s-ar putea expanda platforma oceanică, dacă nu s-ar deplasa continentele pentru a-i face loc? Toată lumea în afară de câțiva nonconformiști, mai ales din Europa, știa foarte bine despre continente că au fost ținute la locurile lor de la crearea lumii.

A urmat apoi cea mai uluitoare răsturnare a vechilor concepții din știința secolului al 20-lea. Următorii câțiva ani au adus revendicarea ideii lui Vine a înregistrărilor magnetice, confirmarea derivei continentelor și o teorie cu totul nouă numită tectonica plăcilor. O contribuție foarte importantă a avut-o Tuzo Wilson de la Toronto, în 1965. El și-a dat seama că unele dintre acele falii lungi care se văd pe fundul oceanului sunt create de bucăți mari ale scoarței terestre exterioare care alunecă una peste cealaltă.

Împreună cu dorsalele care remodelează fundul oceanului și cu fosele oceanice adânci în care vechea platformă oceanică se scufundă pentru a se reface, faliile transformate ale lui Wilson ajută la definirea schiței marilor plăci tectonice în care este divizată litosfera. Marginile acestor plăci sunt scenele celor mai multe cutremure și vulcani activi din lume. Dan McKenzie de la Cambridge și Jason Morgan de la Princeton au dezvoltat teoria matematică formală a tectonicii plăcilor în anii 1967–1968.

Povestea care a început cu vasul regal britanic *Owen* navigând deasupra dorsalei Carlsberg, în 1962, a culminat în 1969 când o altă ambarcațiune, vasul american de foraj *Glomar Challenger*, a început să sondeze adânc în sedimentele de pe fundul oceanului. Cercetătorii eminenți care încă mai credeau că oceanele erau elementele primordiale ale planetei se așteptau ca miliardele de ani de istorie a Pământului să fie înscrise în aceste depozite compacte. În schimb, vârful sapei de foraj a navei *Glomar Challenger* a ajuns la stratul de bază bazaltic într-un timp relativ scurt.

În jurul dorsalelor, sedimentele datează de numai câteva milioane de ani. Ele sunt din ce în ce mai vechi către marginile oceanului, așa cum este de așteptat la bazine care se dezvoltă din centru spre exterior, prin extinderea fundului oceanului. Sedimentele datează peste tot de mai puțin de 200 de milioane de ani. Suprafața Pământului se reînnoiește continuu, direct în oceanele care acoperă cea mai mare parte a planetei, și prin ceea ce reprezintă literal efecte de ciocnire în cadrul continentelor.

Șapte mari plăci formează 94% din suprafața Pământului. În ordinea descrescătoare a mărimii lor, acestea sunt Plăcile Pacificului, Africană, Eurasiatică, Indo-Australiană, Nord-Americană, Antarctică și Sud-Americană. Restul scoarței terestre este alcătuit din plăci mai mici, cele mai importante fiind Plăcile

Filipinelor, Arabă și Caraibelor, care se află aproximativ acolo unde indică și numele lor, plus Plăcile Cocos și Nazca, plăci oceanice localizate la vest de America Centrală și de Sud.

Plăcile se deplasează cu câțiva centimetri pe an, aproximativ viteza cu care cresc unghiile. Chiar și la o asemenea viteză, impulsul este foarte mare și plăcile se ciocnesc între ele cu putere. În același timp, ele transportă marile continente în toate direcțiile, ca pe niște dejunuri pe tăvi în autoservire.

Mișcările plăcilor și deriva continentală sunt direct măsurabile, prin fixarea pozițiilor relative ale stațiilor de pe diferite continente și observarea modificărilor ce apar de-a lungul anilor. Sateliții obișnuiți de navigație, folosiți cu cea mai mare grijă, realizează această sarcină surprinzător de bine. La fel de bine funcționează și laserul amplasat pe satelitul Lageos al NASA, prevăzut cu reflectoare de tip „ochi de pisică”. Cea mai modernă metodă de a măsura mișcările plăcilor compară orele exacte de sosire, la telescoapele radio răspândite în întreaga lume, ale undelor radio traversând distanțe de miliarde ani lumină de la quasari, care sunt niște găuri negre uriașe.

● În căutarea motorului stâncos

După revoluție, în timp ce geologii și fizicienii își rescriau în grabă manualele pentru a include teoria tectonicii plăcilor, au persistat totuși două întrebări fundamentale. Prima, încă foarte obscură, este de ce se inversează polii magnetici ai Pământului, astfel încât să producă structurile magnetice detectate de Vine. Explicația este cu atât mai dificilă datorită marilor variațiuni ale vitezei de inversare, de la 0 la 6 într-un milion de ani. Dacă am trăi într-o fază de relaxare magnetică precum cea de acum 100 de milioane de ani, magnetofonul de la dorsala Carlsberg nu ar avea ce să înregistreze.

A doua întrebare esențială este de ce se mișcă plăcile. Ideea că rocile curg nu este deloc inadmisibilă, cu toate că ele sunt desigur foarte vâscoase. În timp, ele cedează presiunii, așa cum se observă în straturile cutate ale lanțurilor muntoase și în fosilele comprimate pe care le conțin. În plus, un strat noroios, semitopit de rocă, aflat sub plăci și numit astenosferă, le înlesnește mișcarea, iar lubrifierea la limitele plăcilor se realizează cu ajutorul apei.

În principiu nu există nicio problemă în asigurarea energiei necesare pentru mișcarea plăcilor pe suprafața Pământului. Căldura internă generată în timpul formării planetei, prin amalgamarea și sedimentarea materiei sub acțiunea gravitației, este susținută de energia degajată de substanțele radioactive prezente în rocile din interiorul Pământului. Puteți privi orice activitate de la suprafața Pământului ca pe un rezultat direct sau indirect al căldurii care încearcă să iasă la suprafață. În cele din urmă va reuși într-o asemenea măsură încât toată planeta va îngheța, cum s-a întâmplat deja cu planeta vecină Marte, și orice acțiune geologică va înceta.

O albie de apă transportă căldura din etuvă în aer, apa cu cea mai înaltă temperatură ridicându-se, iar cea cu temperaturi mai joase ducându-se din nou la fund. O convecție de același gen, totuși mai lentă, trebuie să aibă loc și în interiorul Pământului. Chiar și așa, mecanismul care transformă fluxul termic și convecția în mișcări ale plăcilor este o chestiune care a dat naștere multor ipoteze și opinii încă de la apariția teoriei tectonicii plăcilor. Nu este deloc ușor să explici ce se întâmplă acolo jos, sub pământul pe care stăm.

Distanța de la suprafața Pământului până în centrul său este de 6 400 de kilometri. Sonda superadâncă deținătoare a recordului în acest domeniu, Kola, aflată lângă Zapolyarny în nordul Rusiei, ajunge doar până la 12 kilometri. Deci tot ceea ce știu cercetătorii despre interior trebuie să fie dedus din măsurători înregistrate în apropierea suprafeței terestre. Aceasta include și descoperirea motorului stâncos care propulsează plăcile.

Undele seismice au fost pentru mult timp principalele surse de informație despre interiorul Pământului. Prin cronometrarea sosirii lor în diferite stații din lume, seismologii pot deduce cu ce viteză s-au deplasat și pe ce traiectorii. Sub scoarță, de obicei groasă de 40 de kilometri, principalul element al Pământului este mantaua terestră alcătuită din rocă. La o adâncime de 2 900 de kilometri, aproape la jumătatea distanței până la centrul Pământului, mantaua plutește pe un nucleu lichid de fier topit și din alte elemente. În interiorul nucleului lichid se găsește un mic nucleu solid, la 5 000 de kilometri adâncime.

Între oamenii de știință a apărut o controversă referitoare la rolul mantalei în determinarea mișcărilor plăcilor. După părerea unora, întreaga manta era implicată. Cea mai populară concepție susținea însă că acea căldură motrice vine direct de la limita dintre manta și nucleu, adusă la suprafață de râurile de lavă fierbinte care urcă. Alți oameni de știință credeau că doar partea superioară a mantalei are un rol direct în convecția care propulsează plăcile, și că activitatea lor se autogenerează în mare măsură.

● Analiza Pământului pe felii

Era de așteptat ca progresele în seismologie să rezolve această problemă. Subiectul a fost în centrul atenției la sfârșitul secolului al 20-lea, pentru că Războiul Rece a impus necesitatea detecției testelor cu arme nucleare, ce emit unde asemănătoare celor seismice.

Obiectivul ce a urmat, de a monitoriza tratatul multilateral de interdicere a testelor nucleare, a asigurat în continuare suportul guvernamental pentru seismologi și pentru rețelele lor globale de stații seismologice. Timpii de propagare ai undelor seismice înregistrați de diferitele stații au evidențiat existența unor lespezi de rocă rece ce se scufundau în manta, prin care undele circulau mai repede decât de obicei, și a unor roci calde ce se ridicau spre suprafață, care frâneau propagarea undelor seismice.

În anii 1990, calculatoarele au devenit suficient de performante pentru a folosi date de la cutremure naturale și a realiza cu ajutorul lor imagini tridimensionale detaliate ale mantalei. Tehnica, numită tomografie seismică, folosește același principiu ca și tomografia computerizată, sau scanările CAT, care au revoluționat tehnicile medicale cu raze X în anii 1980. Ea construiește o imagine tridimensională analizând aceleași caracteristici din diferite unghiuri, într-o serie de felii de rocă.

Imaginile realizate prin tomografia seismică erau însă cam neclare și semănau oarecum cu testele cu pata de cerneală pe care le fac psihologii. Ceea ce vedeau oamenii de știință în acele imagini depindea foarte mult de ceea ce ei se așteptau să vadă în ele. Și dacă nu le plăcea ceea ce vedeau sau dacă nu vedeau nimic, ei puteau încerca să le reproceze sau să reinterpreteze datele.

La sfârșitul secolului al 20-lea, Don Anderson de la Caltech, unul dintre fondatorii tomografiei seismice, a respins existența unei convecții în întreaga manta terestră. El nu a găsit nicio dovadă a ascensiunii rocii fierbinți de la mari adâncimi prin manta. Dimpotrivă, lui i s-a părut că imaginile tomografice arătau că mantaua era stratificată, probabil conținând roci în stări chimice sau fizice diferite, fapt care împiedica amestecarea straturilor prin convecție.

„Fumul care iese prin acoperișul unui iglu, provenind de la căminul unui eschimos va marca crăpăturile, și nu locul unde este amplasat căminul”, a afirmat Anderson. Prin aceasta voia să spună că energia termică provenită de la roca topită care se ridică la suprafață iese pe unde poate, prin dorsalele medio-oceanice, determinând avansarea plăcilor, în timp ce bucăți din plăci care s-au răcit și se scufundă înapoi în fosele oceanice ajută la antrenarea lor.

În proiectul lui Anderson, pe care acesta l-a numit tectonica sus-jos (top-down tectonics), starea mantalei inferioare nu este cauza activității de la suprafață, ci rezultatul acesteia. Folosind energia disponibilă în partea superioară a mantalei, mișcările plăcilor se organizează fără legătură cu mantaua inferioară, exceptând situația în care concentrarea de masă din interiorul planetei poate determina un câmp gravitațional variabil care tensionează plăcile. Existența câtorva zeci de plăci foarte vechi nu este o întâmplare fericită, ci un număr normal pentru un sistem convectiv cu autoorganizare.

„Dinamica Pământului este probabil mult mai simplă decât ne imaginăm noi”, a spus Anderson. Dar raționamentul său nu a rezolvat problema. Majoritatea geologilor specialiști în interiorul Pământului, care susținuseră multă vreme că teoria convecției la nivelul întregii mantale explica mișcările plăcilor tectonice, nu aveau să cedeze ușor.

● Gravitația deschide o fereastră dinspre spațiu

Atunci când teoriile geofizice se contrazic între ele, trebuie să găsim o nouă perspectivă asupra Pământului. La începuturile teoriei tectonicii plăcilor, magne-

tometrele de precizie au făcut posibilă, în mod neașteptat, descoperirea extinderii platformei oceanice. Și alte metode de studiu al interiorului Pământului pot fi îmbunătățite.

Studiile de laborator asupra comportamentului rocilor la temperaturi și presiuni înalte, așa cum sunt condițiile la mari adâncimi, vin în sprijinul seismologiei. Modificările vitezelor de propagare ale undelor seismice se pot datora nu neapărat variațiilor de temperatură, ci schimbărilor de compoziție sau de stare de agregare ale rocilor la diferite adâncimi. Alte dovezi provin din măsurătorile fluxului termic din pământ. Și proporțiile în care se găsesc atomii aceluiasi element având mase atomice diferite – izotopii – au multe de spus despre experiențele rocilor în care aceștia au fost descoperiți.

În căutarea unei mai bune definiții a mantalei, o inovație a unei foarte vechi metode de sondare a Pământului ar putea avea o influență decisivă. Este vorba despre variația forței gravitaționale de la un loc la altul. La începutul secolului al 21-lea s-au pus mari speranțe într-un satelit european numit GOCE, urmând să fie lansat în 2006, și care utilizează o nouă metodă de măsurare a gravitației din spațiu. Este ca și cum Pământul ar deveni mai transparent.

Istoria gravitației în geofizică își are începutul în 1735, când Pierre Bouguer de la Paris a încercat să determine masa munților Anzi, urmărind devierea unui fir cu plumb datorată atracției lor gravitaționale. Devierea a fost neașteptat de mică, „mult mai mică decât ne-am fi așteptat de la o masă atât de mare precum cea a munților”, s-a plâns Bouguer. Era ca și cum munții ar fi fost goi pe dinăuntru. De-abia în 1851 George Airy de la Observatorul Regal Greenwich a explicat corect că Anzii și alte lanțuri muntoase nu modifică considerabil forța gravitațională pentru că sunt amplasați pe rădăcini adânci, de o densitate relativ joasă.

Măsurarea forței gravitaționale locale și a variațiilor sale de la un loc la altul a devenit o tehnică de prospecțiune pentru geologi și geofizicieni, mai întâi cu ajutorul pendulelor și apoi cu gravimetre mai bune, folosind o greutate suspendată de un resort sau un accelerometru electronic. Ca și seismologia, gravimetria putea releva caracteristici ascunse sub suprafața Pământului. De exemplu, un bazin aflat la mare adâncime în care s-ar putea găsi petrol se prezintă ca o regiune cu o gravitație scăzută din cauza densității relativ mici a rocilor sedimentare.

Dintre pionierii măsurătorilor gravitației, s-a remarcat Loránd Eötvös din Budapesta. El și-a început studiile în 1885, cu instrumentul său preferat, balanța de torsiune, alcătuită dintr-o tijă orizontală suspendată la mijloc de un fir subțire și care se leagă dintr-o parte în alta. Lucrând cu o precizie deosebită (dobândită cu prețul a mult timp și răbdare), Eötvös a măsurat nu numai forța gravitațională, dar și variația ei în spațiu între cele două capete ale balanței. Gradiometria, după cum a fost numită tehnica sa, era capabilă deci să detecteze chiar și variația variației.

În anii 1920, scafandrul olandez Felix Vening Meinesz din Utrecht a folosit un pendul într-un submarin pentru a măsura forța gravitațională în mare. A descoperit

o scădere uimitoare a acesteia la sud de Java, care acum poate fi interpretată ca rezultatul subducției fundului oceanului sub pământ în adâncă fosă oceanică Java. O jumătate de secol mai târziu, fosele oceanice și dorsalele medio-oceanice deveneau complet vizibile într-o imagine preluată de satelitul american Seasat, care a avut o viață scurtă dar importantă în 1978.

Seasat detecta nivelul mării cu ajutorul altimetrului radar și astfel a identificat proeminente și depresiuni corespunzând valorilor forței gravitaționale din diferite regiuni oceanice. Acestea imitau, pe o scală de ordinul metrilor, proeminentele și depresiunile de pe fundul oceanului, care sunt măsurate pe o scală verticală de ordinul a mii de metri. Apa mării este atrasă în regiunile cu gravitație puternică, cum sunt cele create de erupția bazaltului dens prin dorsalele medio-oceanice, dar într-o mică măsură ocolește regiunile cu gravitație slabă de deasupra foselor oceanice.

Pentru a obține din datele culese de satelitul Seasat ceea ce era de fapt o diagramă a granițelor principalelor plăci de sub ocean, William Haxby de la Columbia a trebuit să ignore diferențe mult mai mari ale nivelului mării datorate concentrațiilor de masă și regiunilor relativ „goale” din adâncul Pământului. Acestea ridică nivelul mării cu 70 de metri la nord de Noua Guinee și îl coboară cu 100 de metri în sudul Indiei. Acestea și alte diferențe regionale modifică orbitele sateliților, mărindu-le acestora viteza pe măsură ce se apropie de locurile cu cea mai puternică gravitație.

O speranță timpurie în Epoca Spațială a fost că imaginea globală a variațiilor forței gravitaționale, obținută dintr-o combinație de monitorizare prin satelit cu altimetrie radar, va compara diferite regiuni din interiorul Pământului și va dezvălui astfel mecanismul care declanșează mișcarea plăcilor. Cu siguranță, imaginea care a rezultat părea să indice rocă topită ieșind la suprafață și rocă rece scufundându-se în adâncurile Pământului. Și totuși, toate acestea nu aveau nicio legătură evidentă cu fuxurile ascendente și descendente observate în apropierea suprafeței, la marginile plăcilor.

Geofizicienii descriu forța gravitațională în termenii altitudinii locale a unui ocean imaginar care ar acoperi întreaga planetă, numit geoid. La sfârșitul secolului al 20-lea, datorită altimetrelor radar de pe sateliții europeni și americano-francezi, forma geoidului era cunoscută cu o precizie de 50–80 de centimetri, calculată în medie pe regiuni de aproximativ 300 de kilometri lățime. Monitorizarea ușor imprecisă a sateliților a limitat precizia, în timp ce altitudinile înalte ale sateliților (800 și 1 300 de km) au exclus măsurătorile regionale la o scară mai mică.

În 1986, Reiner Rummel de la Universitatea Tehnică din München împreună cu Georges Balmino de la Centrul Național Francez de Studii Spațiale au impus utilizarea unei metode radical diferite de măsurare a gravitației cu ajutorul unui satelit. În loc să măsoare variațiile forței gravitaționale prin modificările apărute

în comportamentul satelitului, ei au spus că ar fi mai bine să se măsoare gravitația direct cu un instrument aflat la bordul satelitului.

La prima vedere pare absurd, pentru că un satelit se află în starea imponderabilă specifică unei căderi libere. Dar în realitate forța gravitațională terestră nu are exact aceeași valoare în orice punct din interiorul satelitului. Există unele mici variații în diferite direcții, detectabile prin gradiometrie, fapt demonstrat pentru prima dată la sol de către Eötvös, cu un secol în urmă.

Cu ajutorul unei echipe formate din colegi din câteva țări, specialiști în diverse ramuri ale științelor Pământului, Rummel și Balmino au convins Agenția Europeană Spațială să construiască satelitul necesar. Numit GOCE, acesta era programat să fie lansat în 2006¹ pe o orbită aflată la 250 de kilometri deasupra Pământului, și urma să transporte trei perechi de accelerometre de mare precizie aflate la câte o jumătate de metru distanță, pentru a măsura diferențele între valorile forței gravitaționale în toate direcțiile.

„După ce vor fi trecut doi ani de funcționare a satelitului pe orbită, incertitudinea cu privire la forma gravitațională a Pământului va fi redusă la aproximativ un centimetru, calculată pe regiuni cu dimensiunea liniară de până la 80 de kilometri”, a afirmat Rummel. „Satelitul GOCE va deschide o nouă fereastră către interiorul Pământului și va dezvălui porțiuni de roci care se deplasează destul de departe sub picioarele noastre. Deoarece seismologii nu sunt de aceeași părere, am putea da o mână de ajutor”.

Nimeni nu se aștepta ca satelitul GOCE sau un alt satelit gravitațional ingenios creat în secolul al 21-lea să rezolve problema motorului independent al Pământului. Dimpotrivă, ideea era să se comaseze rezultatele cu datele seismice și cu alte măsurători pentru a se ajunge la o imagine unitară, în acord cu toate măsurătorile și probele. Dacă aceasta va reuși, este posibil ca forța ce dirijează mișcările plăcilor tectonice să devină cunoscută în sfârșit, după 40 ani de la descoperirea acestora.

- Pentru o perspectivă interplanetară și pentru întrebarea „de ce nu există mișcări ale plăcilor tectonice pe planeta-soră Venus”, vezi **PĂMÂNTUL**. Pentru originea și stadiul teoriei mantalei convective, vezi **ZONELE FIERBINȚI**. Pentru un alt aspect al lor și o posibilă legătură extraterestră cu mișcările plăcilor tectonice, vezi **INUNDAȚIILE BAZALTICE**. Manifestările mișcărilor plăcilor tectonice sunt prezentate în **CUTREMURE**, **EXPLOZII VULCANICE** și **CONTINENTE ȘI SUPERCONTINENTE**. Pentru viața adaptată la marginile plăcilor oceanice, vezi **BACTERIILE EXTREMOFILE**. Pentru utilizările oceanografice ale sateliților gravitaționali, vezi **CURENȚII OCEANICI**.

¹ La momentul redactării ediției în limba română (2007), GOCE era încă în teste, urmând să fie lansat în misiune abia în vara anului 2008.

MOARTEA CELULELOR



Suicidul ca parte integrantă a evoluției

D ACĂ V-AȚI FI AȘTEPTAT ca insulele Galapagos din Ecuador să fie o zonă încântătoare pentru simplul motiv că Charles Darwin a descoperit acolo o lume animală și vegetală cu totul neobișnuită, veți fi socați de priveliștea pe care acestea o oferă. Scriitorul Herman Melville le-a descris ca fiind „douăzeci și cinci de coame de zgură ... un peisaj apocaliptic ca al întregului Pământ după un incendiu la scară planetară”. Iar când El Niño determină încălzirea apelor Oceanului Pacific care înconjoară insulele, epuizând întregul stoc de pești, insulele Galapagos sunt și mai dezolante ca de obicei.

Spre exemplu, în colonia de găgăuți cu picioare albastre¹ de pe insula Isabella, din depărtare, tufărișul pare presărat cu zeci de bulgări pufoși de vată. Aceștia se dovedesc a fi cadavrele puiilor care au fost lăsați să moară. Găgăuțele-mame fac pui la intervale neregulate, astfel încât în perioada în care hrana este puțină, puii mai tineri nu pot concura cu frații sau cu surorile lor mai mari. În contabilitatea supraviețuirii, un pui bine hrănit valorează mai mult decât doi hrăniți pe jumătate.

Să luăm în considerare puiul care moare. El nu este nici victima unui prădător, nici a unei boli sau a vreunei căderi de pietre, și nici al vreunui defect înăscut. Și nici nu moare de bătrânețe pentru a face loc noilor generații. Dacă ar fi fost hrănit, puiul ar fi ajuns la maturitate și ar fi prins pești ca oricare alt găgăuț cu picioare albastre. Moartea puiului este programată ca să servească vieții, prin chiar ordinea inflexibilă a nașterii sale.

Se aseamănă, în această privință, cu distrugerea intenționată a celulelor vii microscopice din țesutul animal, care survine chiar și în stadiul embrionar. O diferență ar fi că moartea puiului lasă urme pe lava insulelor Galapagos. Rămășițele celulelor de prisos sunt eliminate atât de repede, încât procesul a rămas aproape neobservat de biologi până în anul 1964. Atunci Richard Lockshin de la Universitatea St. John, New York a descris reglarea fină a mușchilor în dezvoltare ai fluturilor de mătase ca o moarte programată a celulelor.

¹ Păsări din ordinul *Pelecaniformes*, familia *Sulidae*, genul *Sula*, specia *Sula nebouxi*. (n.red.)

Un nou termen a devenit cuvânt-cheie: apoptoza². Provine din limba greacă, având înțelesul de „căderea frunzelor”. Specialiștii în patologie de la Edinburgh au adoptat acest termen după ce au urmărit cum se descompuneau celulele autodistructive din ficatul de șobolan în fragmente mici, ușor de eliminat, observând apoi același fenomen la celulele muribunde ale amfibienilor și ale oamenilor. John Kerr, Andrew Wyllie și Alistair Currie au fost primii care au înțeles importanța generală a morții celulare. Ei au intitulat o lucrare de referință, ce a fost publicată în 1972: „Apoptoza: un fenomen biologic fundamental cu multiple implicații în cinetica tisulară”. Au afirmat că moartea celulelor joacă rolul opus diviziunii celulare, în reglarea numărului de celule din țesutul animal.

● Genele morții și alte mecanisme

Câțiva ani mai târziu, John Sulston de la Laboratorul de Biologie Moleculară din Marea Britanie a adus noi dovezi în sprijinul acestei teorii. El a urmărit dezvoltarea unui vierme, micul nematod *Caenorhabditis elegans*. Pentru ca viermele să ajungă la stadiul adult se formează exact 1090 de celule și exact 131 sunt destinate morții. Acest fapt dezvăluie un control molecular ingenios, în trei etape: identificarea celulelor în plus, autodistrugerea lor și îndepărtarea resturilor.

La mijlocul anilor 1980, Robert Horvitz de la Institutul de Tehnologie Massachusetts a identificat la vierme două gene ale morții folosite pentru a marca celulele nedorite, în vederea eliminării lor. Ulterior, a descoperit o altă genă care protejează împotriva morții celulare, interacționând cu genele morții. Astfel a apărut un prim indiciu molecular al faptului că în fiecare celulă a corpului nostru se desfășoară, în fiecare moment, un monolog hamletian³.

„Cu toții ne gândim la moarte ca la ceva ce nu am vrea să se întâmple, mai ales noi, specialiștii în culturi celulare”, a comentat Barbara Osborne de la Universitatea din Massachusetts. „Uneori, durează mult timp pentru ca un lucru să fie considerat important”. Aceste afirmații au fost făcute în 1995, în momentul în care apoptoza era la modă printre oamenii de știință, după mai bine de 20 de ani de la apariția ei.

Precum Monsieur Jourdain din „*Burghezul gentilom*” al lui Molière, care a descoperit că se exprimase toată viața lui în proză, biologii și medicii au realizat faptul că erau complet familiarizați cu numeroase procese care au la bază apoptoza. Un făt își formează degetele de la mâini și de la picioare prin eliminarea țesutului dintre ele, aproape ca un sculptor. Creierul este sculptat într-o manieră mai subtilă prin formarea de celule în surplus și eliminarea celor care nu se potrivesc modelului dinainte stabilit al interconexiunilor. La un om adult, în

² Acest termen provine din grecescul *apoptosis*. (n. red.)

³ A fi sau a nu fi: iată-ntrebarea / Mai nobil e să-nduri în cuget, oare, / Săgeți și prăștii ale-ursitei rele, / Sau apucând o armă tu să curmi al Restriștilor noian? / Să mori, să dormi... Nimic mai mult. [...] (n. red.)

fiecare zi iau naștere nenumărate celule noi, iar cele îmbătrânite sau ușor deteriorate pe care acestea le înlocuiesc vor fi eliminate prin apoptoză.

Moartea celulelor generată de răni sau de infecții lasă urme, cauzând inflamarea țesutului apropiat. Apoptoza este discretă. Celula care se autodistruge își segmentează materialul genetic în bucăți ce devin astfel ineficiente. De asemenea, aceasta se micșorează și se subdivizează în corpuri mici, etanșe, apetisante pentru globulele albe care le înghit. Procesul durează aproximativ o oră.

Apoptoza este orchestrată de gene. Aceasta este trăsătura sa distinctivă care înlocuiește definițiile inițiale bazate pe apariția celulelor muribunde. În jocul dintre genele morții care susțin apoptoza și celelalte gene care i se împotrivesc, este posibil ca însăși celula să decidă să moară, dacă se simte bolnavă. Celulele pielii care au fost arse de soare sunt un caz elocvent.

Comenzile de autodistrugere, sub forma semnalelor moleculare ce vin în mod alternativ din afara celulei, se instalează pe suprafața acesteia și activează apoptoza. Astfel, distrugerea celulei presupune proteine cu funcții speciale, enzimele numite caspaze, formate la comanda genelor. Alte enzime eliberate de centralele energetice ale celulei, mitocondriile, contribuie de asemenea la dispariția celulei.

Uneori celulele care ar trebui să moară nu mor, și rezultatul poate fi cancerul. Sau un virus inteligent ar putea stopa apoptoza, în timp ce folosește mecanismul celulei în scopul multiplicării sale. În alte cazuri, celule care ar trebui să trăiască mor, din cauza apoptozei greșit direcționate, determinând boli degenerative cum ar fi boala Alzheimer și complicațiile pe termen lung ale unui accident vascular cerebral.

Protecția împotriva infecțiilor asigurată de globulele albe ale sistemului imunitar se bazează pe procesul continuu al creației și distrugerii acestora. Sistemul trebuie să favorizeze supraviețuirea celulelor celor mai eficiente împotriva unei infecții curente și să le elimine pe cele redundante și periculoase. Cele din urmă includ celulele programate să atace propriile țesuturi, iar un eventual eșec în distrugerea lor duce la boli autoimune.

„Sistemul imunitar produce celule în număr mai mare decât cel necesar, iar surplusul de celule este eliminat prin apoptoză”, a afirmat Peter Krammer de la Centrul de Cercetare a Cancerului din Heidelberg. „Apoptoza este forma cea mai des întâlnită de moarte a celulelor sistemului imunitar. Este uluitor cât de multe căi au celulele sistemului imunitar pentru a muri... Apoptoza este o caracteristică reglatoare atât de importantă a sistemului imunitar încât nu este surprinzător faptul că un exces sau o diminuare a acesteia cauzează boli grave”.

● „Mai bine să mori decât să greșești”

Cercetările asupra apoptozei au luat un mare avânt, la începutul secolului al 21-lea, ca urmare a înțelegerii cu întârziere a implicării sale într-o gamă largă de stări maladive. Tratamentele preexistente ale cancerului, cel cu radiații și cel cu sub-

stanțe chimice, s-au dovedit a declanșa în mod neintenționat suicidul celular mult dorit. O mai bună înțelegere poate duce la terapii mai bune. Însă noua descoperire a apoptozei aduce cu sine și un avertisment. Tratamentele puternice împotriva cancerului ar putea să încurajeze dezvoltarea bolilor degenerative, și invers.

Mecanismele apoptozei la viermi și la muște sunt similare cu cele de la om, ceea ce înseamnă că s-au păstrat de-a lungul istoriei vieții animale. Apoptoza apare de asemenea și la plante. Spre exemplu, canalele prin care apa urcă în trunchiul copacului se formează prin sinuciderea unor șiruri întregi de celule. Cum apoptoza joacă un rol atât de important în sculptarea animalelor și a plantelor, teoreticienii evoluționiști vor trebui să o includă în tentativele lor de a explica modul în care planul corpului a evoluat atât de coerent de-a lungul istoriei vieții.

Vladimir Skulachev de la Moscova a adaptat următorul proverb rusesc: „E mai ușor să strici decât să reparați”, pentru a propune un nou principiu al vieții: „E mai bine să mori decât să greșești”. Moartea unui întreg organism reprezintă, în unele circumstanțe, o apoptoză într-o formă exagerată. Șocul septic cauzează moartea celor care suferă de o infecție gravă. Acesta adaptează sistemul biochimic, utilizat în mod normal pentru rezistența împotriva infecției, la declanșarea apoptozei în masă. Din punctul de vedere al lui Skulachev, acest fapt nu diferă în principiu de suicidul rapid al bacteriei atunci când este atacată de un virus. Rezultatul este reducerea riscului de răspândire a infecției și la alți membri ai speciei.

Ajustarea biologiei pentru a ține cont de surprinzătoarea descoperire de dată recentă a apoptozei necesită o schimbare de perspectivă. Marea majoritate a biologilor nefamiliarizați cu ea trebuie să-și dea seama de implicațiile sale. Ei vor trebui să accepte printre concepțiile lor elementare faptul că, în cazul formelor de viață complexe, moartea celulelor este la fel de importantă ca și crearea lor.

Suicidul altruist este parte integrantă a evoluției. Pentru a înțelege aceasta, e suficient să priviți spațiile dintre degete care fac ca mâinile dumneavoastră să se deosebească de labele unei rațe. Celulele care și-au segmentat propriul ADN pentru a vă permite să țineți în mână un băț sunt protagoniști la fel de importanți în povestea vieții ca și celulele care supraviețuiesc. Și tot la fel de importanți ca și micuții altruști fără voie, puii de găgăuți care acoperă cu puful lor neînsuflețit insula Isabella.

Va trece mult timp până când lumea se va obișnui cu această idee, la fel cum s-a petrecut cu descoperirea de acum 100 de ani că ereditatea vine în formă de fișicuri. Astfel, în pofida miilor de lucrări științifice deja publicate despre moartea celulară programată și apoptoză, subiectul este încă la început din punct de vedere filozofic. Ceea ce îl face, bineînțeles, extrem de incitant.

- Pentru rolul apoptozei în dezvoltarea creierului, vezi **CONEXIUNILE CEREBRALE**. Referitor la supraviețuirea și moartea organismului ca întreg, vezi **IMORTALITATEA**. Vezi, de asemenea, și **EMBRIONII**.

MOLECULE ÎN SPAȚIU



Chimie exotică printre stele

ÎN ZILELE NOASTRE, trebuie să urci pe vârful munților din Chile, din Hawaii, din Australia sau din Insulele Canare pentru a găsi cele mai multe telescoape cu lumină vizibilă europene. Aceasta se petrece deoarece Europa însăși este acoperită de nori. În Polonia secolului al 16-lea, Nicolaus Copernicus se plângea că nu a reușit niciodată să vadă planeta Mercur.

Astfel că atunci când, în 1944, astronomul Jan Oort de la Leiden a aflat despre o hartă a Căii Lactee realizată cu ajutorul undelor radio de către un amator american, Grote Reber, primul său gând a fost că undele radio ar putea străpunge și încăpățânații nori olandezi. Olanda era la acea vreme sub ocupație militară germană, însă cu toate acestea Clubul Astronomilor Olandezi continua să funcționeze. Când Oort a deschis subiectul radioastronomiei, un doctorand, Henk van de Hulst, a atras atenția asupra faptului că atomii de hidrogen, cel mai răspândit element din Univers, ar trebui să emită unde radio puternice, cu lungimi de undă de 21 de centimetri.

După sfârșitul războiului, a luat startul competiția pentru detectarea undelor emise de hidrogenul din spațiul cosmic. Harvard a câștigat această cursă în 1951, cu doar câteva săptămâni înaintea celorlalți, însă astronomii olandezi și colegii lor din Australia au continuat cu realizarea primei hărți a brațelor spiralate ale galaxiei Calea Lactee, urmărind concentrațiile și mișcările relative ale hidrogenului atomic. Aceasta era pentru prima dată când, cu excepția meteoriților, o substanță din Univers era identificată altfel decât cu ajutorul luminii vizibile sau al benzilor infraroșii sau ultraviolete învecinate ce se strecoară prin bariera atmosferei terestre.

Lumina vizibilă provine în special de la obiecte fierbinți, cum este Soarele. După 1859, când Gustav Kirchhoff de la Heidelberg și-a dat seama că liniile întunecate observate în spectrul solar asemănător curcubeului erau datorate absorbției luminii cu lungimi de undă foarte bine definite, de către atomi individuali, multe elemente chimice au fost identificate în Soare și stele. Heliul a fost detectat în Soare înainte să fie descoperit pe Pământ. Dar temperaturile înalte asociate luminii vizibile afectează chiar și atomii liberi, iar combinațiile de atomi sub forma moleculelor supraviețuiesc rareori.

La mijlocul secolului al 20-lea, singurele semnături moleculare detectate în spațiul cosmic erau cele ale unui atom de carbon unit fie cu un singur atom de hidrogen, fie cu unul de nitrogen (CH , CH^+ și CN). Era o schimbare de direcție neînsemnată. Dar dacă atomii de hidrogen puteau emite unde radio caracteristice, din regiuni ale galaxiei prea reci pentru a străluci vizibil, tot astfel puteau și multe alte molecule capabile să supraviețuiască în aceste locuri. O dată cu această concluzie s-a născut astrochimia.

Între anii 1963 și 1970, radioastronomii din SUA au detectat semnături ale grupărilor hidroxil (o moleculă de apă descompusă, OH), apei, amoniacului și monoxidului de carbon. Emițând unde cu lungimea de undă de 2,6 milimetri, monoxidul de carbon a devenit un fel de far pentru „vânătorii” de molecule care îi ghida înspre aglomerările reci de gaze care au fost numite nori moleculari. Acestea coincideau adesea cu regiuni cum ar fi Nebuloasa Orion, unde se nașteau noi stele.

Un pionier al astrochimiei, Patrick Thaddeus, a comparat identificarea moleculelor cu acordarea pe frecvența unui post de radio anume ales. El a spus că „asemenea amprente radio sunt atât de distincte și precise încât niciun om de știință nu ar pune la îndoială identitatea emițătorului”. Thaddeus a început să realizeze harta norilor moleculari din Calea Lactee. El a folosit un radiotelescop foarte mic care acoperea o arie întinsă de pe cer și se potrivea foarte bine pe acoperișul laboratorului său – mai întâi la Columbia și apoi la Harvard.

La sfârșitul secolului, contabilitatea norilor moleculari justifica jumătate din gazul liber din galaxie. Unii nori moleculari gigantici au dimensiuni de sute de ani-lumină și cântăresc cât un milion de sori. Printre surse sunt și maseri naturali, un fel de laseri ce operează cu microunde, care intensifică semnalele.

Lista moleculelor detectate de radioastronomii din întreaga lume a depășit 100 de astfel de molecule. Unele sunt substanțe cunoscute, cum ar fi dioxidul de sulf, metanul și acidul acetic, dar altele sunt compuși exotici care n-ar putea supraviețui în condițiile terestre din afara laboratoarelor. Având legături nesatisfăcute sau fiind puternic nesaturați, acești compuși pot deveni extrem de reactivi. Hidroxilul (OH) este un exemplu simplu, iar unul mai complex este un lanț de 11 atomi de carbon cu doar un atom de hidrogen și unul de azot legați de acesta, cianodecapentaina (HC_{10}CN).

Universul a avut un start lent, la fel ca un chimist cu resurse puține, având doar hidrogenul, heliul și foarte puțin litiu cu care se putea juca. Deși heliul este considerat de obicei ca fiind nereactiv, se poate ca, printre primele molecule, să fi existat perechi încărcate de atomi de heliu (He_2^+). Hidrura de heliu (HeH^+) și o infimă cantitate de hidrură de litiu (LiH) au fost probabil eforturile de începător ale Mamei Natura de a crea compuși chimici. Dar de îndată ce primele stele au început să producă elemente mai grele și să le lanseze în spațiu atunci când se stingeau, cartea ei de rețete s-a îmbogățit rapid.

Eprubetele pot fi câmpurile gravitaționale și magnetice care mențin laolaltă roiurile gigantice dar difuze de atomi și de molecule. Acestea pot fi alcătuite din particule de minerale sau de gheață, care oferă suprafețe și adăposturi reactive, sau chiar molecule mari în care se află molecule mici.

Cu toate acestea, lămpile Bunsen ale radiației solare, undele de șoc sau particulele cu energii mari din radiația cosmică pot la fel de bine distruge moleculele precum le pot și crea. Este destul timp totuși, iar răcoarea și întunericul spațiului interstelar sunt propice pentru păstrarea moleculelor. Ele se adună în nori de praf, asemănători acelor care ne împiedică să vedem unele regiuni din Calea Lactee.

Moleculele sunt părtașe la marile cicluri de formare a stelelor și a planetelor, la dispariția finală a acestora și la renașterea lor din rămășițe. Apa și alte substanțe joacă un rol-cheie în formarea stelelor, acționând ca elemente radiante ce degajă căldură, care altfel ar împiedica apariția unor noi stele în urma colapsului unor nori de gaze. În vecinătatea stelelor nou-formate, produsele chimiei conținând gaze, praf și gheață furnizează materia primă pentru constituirea planetelor și a cometelor.

● Stăpânii de carbon ai junglei

Cercetătorii au extins căutarea moleculelor în spațiul cosmic, utilizând forme de lumină invizibilă provenind din galaxie, care sunt în mare măsură detectabile doar cu ajutorul aeronavelor, baloanelor, rachetelor sau sateliților. Moleculele de hidrogen interstelare, spre deosebire de atomii liberi, au fost evidențiate pentru prima dată în 1970 cu un telescop cu lumină ultravioletă aflat la bordul unei rachete. Iar în 1984, când au folosit telescoape terestre și aeropurtate cu radiație infraroșie pentru a investiga niște nori de praf foarte strălucitori din preajma stelelor, Alain Léger și Jean-Loup Puget de la Institutul de Astrofizică Spațială din Franța au raportat posibile semnături ale unor molecule exotice foarte mari, numite hidrocarburi aromatice policiclice sau, pe scurt, HAP.

Acestea sunt molecule ce au aproximativ 20–90 de atomi de hidrogen și de carbon, în care atomii de carbon sunt aranjați sub formă de inele policiclice interconectate. „Aromatic” este un termen chimic ce definește moleculele care conțin inele de carbon în care atomii pun în comun electronii, aceștia circulând de jur împrejur precum o cupă ce trece din mână în mână, la banchete. Pe Pământ, compușii aromatici dau mirosul vieții, fiind omniprezenți printre ingredientele-cheie ale organismelor vii, de la gene până la pigmentii din plante și din ochi – responsabili cu absorbția luminii. În spațiul interstelar, compușii HAP sunt stabili din punct de vedere chimic și, prin urmare, rezistenți.

„La mai bine de 10 ani după ce am prezis că hidrocarburile aromatice policiclice HAP ar trebui să fie omniprezente, ele încă par a fi doar o idee ciudată, dedusă din spectrele câtorva obiecte”, a spus Léger. „Însă o dată cu începerea activității Observatorului Spațial în Infraroșu, în 1996, s-au înregistrat imediat emisii puternice în mai multe zone diferite de pe cer, pe aceleași lungimi de unde ca și cele

prezise pentru compușii HAP. Aceasta a fost o confirmare fericită a predicțiilor noastre.” În norii din jurul stelelor pe cale de dispariție și a celor nou-formate, sau răspândite pretutindeni în spațiul interstelar, Observatorul Spațial în Infraroșu, un satelit european ce a funcționat între anii 1995–1998, a descoperit cantități imense de compuși HAP, semnalate de emisii intense pe o serie de lungimi de unde din domeniul infraroșu, de la 3 la 15 microni. Compușii HAP au fost detectați și în alte galaxii. Acești stăpâni ai junglei cosmice moleculare ar putea justifica existența câtorva procente din cantitatea de carbon liber din Univers.

Cei care se îndoiau vorbeau la început doar de „benzi neidentificate” în spectrul infraroșu. Ei s-au plâns că nimeni nu a detectat benzen în spațiul interstelar. Benzenul este un inel aromatic simplu, având doar șase atomi de carbon. Dacă nu există nici urmă de benzen, de ce am crede în existența compușilor HAP, mult mai complecși? Această obiecție a dispărut atunci când astronomii spanioli și cei danezi au reexaminat observațiile asupra stelelor pe cale de dispariție și au găsit semnătura benzenului. Chimistii au examinat din nou materia bogată în carbon ce se găsește în unii meteoriți și au descoperit compuși HAP reali, ajunși pe Pământ din spațiu.

Chimiștii experimentatori s-au inspirat din astronomie pentru a crea noi substanțe. Cele mai faimoase sunt fullerenele (sau buckysferele), compuși în care 60 sau 70 de atomi de carbon formează molecule asemănătoare mingiilor de fotbal, din inele interconectate. Ca o ironie a sorții, acestea au avut un impact însemnat asupra chimiei terestre și cercetării ingineresti înainte ca ele să fie identificate în spațiul interstelar – care și la începutul secolului al 21-lea a rămas destul de ambiguu. Însă buckysferele au fost descoperite în meteoriți, deci nimeni nu se mai putea îndoii de existența lor în spațiul extraterestru.

● Furtunuri de apă pe cer

Deoarece apa reprezintă mai mult de jumătate din greutatea corpului uman, originea sa printre stele este o problemă destul de serioasă. Atomii de oxigen creați în urma dispariției stelelor pot găsi ușor atomi de hidrogen cu care să reacționeze și să producă vaporii de apă, deci existența sa nu este ceva surprinzător. Observatorul Spațial în Infraroșu a demonstrat cât de răspândită este în oazele umede din preajma stelelor vechi și a celor tinere și în norii moleculari din Calea Lactee.

„Pentru prima dată avem o imagine clară despre abundența apei în galaxie”, a spus José Cernicharo de la Institutul Spaniol de Structură a Materiei (Instituto de Estructura de la Materia), în 1997. „În nori relativ denși, 10 procente din atomii de oxigen sunt încorporați în moleculele de vaporii de apă. Un procent și mai mare se poate găsi în apa înghețată. Vaporii de apă sunt, după hidrogenul molecular și monoxidul de carbon, unele dintre cele mai importante molecule din spațiu.”

Și mai remarcabilă a fost cantitatea de aburi detectată de o echipă de astronomi americani care a folosit Observatorul Spațial în Infraroșu pentru a cerceta

nebuloasa Orion. Acest nor molecular este asaltat și încălzit de undele de șoc provenind de la stelele nou formate. Conform predicțiilor, la temperaturi de peste 100°C majoritatea atomilor de oxigen din gazul interstelar ar trebui să fie convertită în apă, și exact așa au văzut și astronomii.

„Norul de gaz interstelar pe care l-am observat în constelația Orion pare a fi o imensă fabrică chimică”, a comentat David Neufeld de la Universitatea Johns Hopkins, „care generează suficiente molecule de apă într-o singură zi pentru a umple oceanele de pe Pământ de încă 60 de ori. În cele din urmă, acei vapori de apă se vor răci și vor îngheța, transformându-se în mici particule de gheață. Se presupune că particule de gheață asemănătoare au fost prezente în norul de gaz care se află la originea sistemului solar. Este destul de plauzibil că o mare cantitate de apă din sistemul solar să fi fost produsă inițial într-o fabrică gigant de vapori de apă, precum cea pe care am observat-o în constelația Orion.”

Și gheața are propriile semnături în infraroșu, pe care Observatorul Spațial în Infraroșu le-a inventariat. În spațiile reci dintre stele, vaporii de apă și alte substanțe volatile condensează și înghețată pe suprafața particulelor disponibile, la fel ca și chiciura în timpul iernii. Telescoapele terestre găsiseră deja monoxid de carbon și metanol înghețate în spațiu, și de asemenea gheață, dar telescopul spațial le-a văzut mult mai clar. Tot cu ajutorul acestuia s-au descoperit cantități surprinzătoare de gheață de dioxid de carbon și de metan, nedetectabile de pe Pământ.

Detectarea vaporilor de apă în atmosferele superioare ale planetelor exterioare din sistemul solar a însemnat o mare bucurie pentru Helmut Feuchtgruber de la Institutul pentru Fizică Extraterestră Max Planck din Germania. „Atmosfera superioară a Pământului este foarte uscată deoarece vaporii de apă care se ridică din oceane sau de pe pământ înghețată în nori”, a afirmat el. „Ceea ce vedem pe Saturn, Uranus și Neptun provine probabil de la o sursă exterioară.”

Evident, cometele furnizează încă materie acestor planete, având implicații importante pentru teoriile asupra atmosferelor tuturor planetelor, inclusiv cea a Pământului. Scenariul potrivit căruia gheața adusă de o cometă ar putea constitui o sursă de apă a fost deja ilustrat de spectaculosul impact al cometei Shoemaker-Levy 9 asupra planetei Jupiter, în 1994.

În 2001, naveta spațială americană Satelitul Astronomic cu Unde Submilimetrice (Submillimeter Wave Astronomy Satellite) a detectat în apropierea unei stele aflate în expansiune, în ultimul stadiu de existență, CW Leonis, de 10 000 de ori mai mulți vapori de apă decât ar fi fost normal. Singura explicație era că un vechi roi de comete, asemănător cu cel ce înconjoară sistemul solar, s-a evaporat sub influența căldurii tot mai mari a stelei. Din nou, Neufeld de la Johns Hopkins a făcut o declarație uimitoare: „Credem că suntem martorii Apocalipsei care va înghiți sistemul nostru solar în 6 miliarde de ani.”

După ce își va vaporiza stocul de comete, Soarele muribund își va da suflarea expulzându-și straturile exterioare de gaz și va deveni o nebuloasă planetară. Astronomii cunosc aproximativ 1 600 astfel de obiecte. Ei observă gazele ca pe

niște giulgiuri minunate, multicolore ale recent defunctelor stele, care sunt reduse la mici tăciuni fierbinți și devin, în acest stadiu, pitice albe, ce se pot distinge adesea în centrul nebuloasei.

Mai ciudat este că, deși stelele care le alcătuiesc sunt sferice, nebuloasele planetare se prezintă de obicei sub diferite forme nonsferice. Jeturile de vapori de apă, asemenea unor furtunuri pe cer, au oferit prima dovadă despre unul dintre agenții sculpturali ce acționează într-o stea muribundă. Acestea au fost evidențiate de astronomii japonezi și britanici care au utilizat telescoapele radio multiple de la stația americană US Very Long Baseline Array (VLBA) pentru a examina vaporii de apă din vecinătatea unei stele senile, W43A din constelația Aquila.

Această stea nu este o nebuloasă planetară, dar este pe cale de a deveni. În 2002, radioastronomii au descris jeturi înguste de vapori de apă ce țâșneau din polii opuși ai stelei W43A cu o viteză de 140 de kilometri pe secundă, ieșind ca un tirbușon în afară pe măsură ce axa planetei oscila. A fost un adevărat noroc pentru echipă să vadă steaua într-o scurtă fază de tranziție, de la stadiul de stea bătrână la cel de nebuloasă planetară.

„Analiza jeturilor de apă indică faptul că ele au doar câteva decenii vechime”, a spus Hiroshi Imai de la Observatorul Astronomic Național din Japonia. „Odată ce o stea colapsează datorită propriei sale gravitații și devine o pitică albă densă, radiația sa ultravioletă intensă va descompune moleculele de apă, făcând imposibile cercetările și observațiile de genul celor realizate de noi.”

● Într-o bandă de frecvențe neexplorată

Căutările moleculelor în spațiu cu unde infraroșii și unde radio s-au întâlnit în domeniul undelor scurte submilimetrice ale radioastronomilor, pe care alții le numesc unde infraroșii foarte lungi. Cerul a rămas de fapt neexplorat în special la lungimile de undă de o jumătate de milimetru și mai puțin. Unul dintre noile proiecte ce au promis progrese spectaculoase în astrochimie în a doua decadă a noului secol a fost succesorul Observatorului Spațial în Infraroșu, nava spațială europeană Herschel, ce urmează să exploreze această bandă de frecvențe submilimetrice și a cărei lansare este programată în 2007 (dar a fost amânată pentru 2008 – n. red.).

Un alt nou-venit urma să fie proiectul internațional Marea Rețea de Antene Milimetrice din Atacama (Atacama Large Millimetre Array), ce presupunea dispunerea a zeci de antene parabolice radio pe un platou din Chile. Deși va funcționa în banda de frecvențe milimetrice, acesta se va putea strecura și în regiunea submilimetrică. Cel mai de seamă dintre cercetătorii care au conceput fundamentul științific pentru ambele proiecte a fost o olandeză, Ewine van Dishoeck de la Observatorul din Leiden, unde Henk van de Hulst propusese pentru prima dată acordarea cu undele emise de atomii de hidrogen printr-un dispozitiv utilizând undele radio, cu o jumătate de secol înainte.

„Am văzut astrochimia ieșind din obscuritate pentru a deveni o temă importantă atât pentru astronomie cât și pentru chimie”, a spus ea. „Acum ea se află la baza

studiului formării stelelor și a planetelor, al originii vieții pe Pământ, și a cercetării pentru extinderea formelor organizate de viață în alte locuri. Am descoperit molecule exotice pe care chimiștii nu le-au mai văzut până acum și am dat un nou impuls chimiei teoretice și astrofizicii de laborator. Totuși, simt că abia ne aflăm la început. Nu cred că a existat vreodată o ocazie mai bună de a căuta molecule în spațiu.”

- **MINERALELE ÎN SPAȚIU** merită un capitol separat, care face referire și la utilitatea materiei extraterestre. Vezi de asemenea **ELEMENTELE CHIMICE, FULLERENE ȘI NANOTUBURI** și **ORIGINEA VIEȚII**. Pentru informații despre căutarea atomilor de hidrogen la mare distanță, vezi **GALAXIILE**.

MONȘTRII OPTIMIȘTI

Prevestirea unei revoluții în evoluție

DINTRE NUMEROASELE POVEȘTI AMARE despre descoperiri a căror recunoaștere a întârziat să apară, cea a lui Barbara McClintock a avut un final destul de fericit în 1983, când a primit Premiul Nobel la vârsta de 81 de ani. Însă această recunoaștere a venit după decenii literalmente pline de lacrimi de suferință.

Munca sa, realizată aproape în izolare la Laboratorul Cold Spring Harbor din New York, a fost desconsiderată într-atât, încât McClintock a ezitat chiar să-și publice ultimele rezultate. Ea a adus la lumină o lume nouă, a fenomenelor ereditare necunoscute geneticienilor sau evoluționiștilor, numai prin studiul atent al fenomenului decolorării boabelor de porumb. Și de aici a apărut problema lui McClintock. Majoritatea biologilor care îi cunoșteau munca credeau că era vorba doar de o particularitate apărută în cadrul unei culturi.

Cultivatorii de porumb sunt familiarizați cu instabilitatea ce rezidă în petele, în multiple nuanțe de maro, formate de boabele divers colorate de pe știulete. În cercetarea sa demarată în anii 1940, McClintock a studiat procesele implicate. Ea a descoperit gene care săreau dintr-o parte în alta. Acestea își pot schimba pozițiile în interiorul cromozomilor în care genele de porumb sunt împachetate sau pot să sară de la un cromozom la altul. Elementele genetice mobile descoperite de McClintock, sau transpozonii, sunt astăzi prezentate în manualele școlare.

„Suntem toți, din nefericire, dependenți de faptul de a fi apreciați”, scria un prieten apropiat, Howard Green de la Școala Medicală Harvard. „Recunoașterea meritelor ne face să creștem și lipsa ei să suferim. Când s-a demonstrat existența transpozoniilor în bacterii, în drojdie și în alte organisme, Barbara și-a atras laudele și stima generală a lumii științifice. Însă cu greu le-a putut accepta.

Porumbul decolorat al lui McClintock era doar începutul transformării ideilor preexistente privind ereditatea. Genele săltărețe din tripanozome, paraziții care provoacă boala somnului, prezentau rearanjări interioare similare celor de la porumb. Modificând moleculele de suprafață ale tripanozomelor, genele săltărețe le ajutau să scape de anticorpii animalelor infectate anterior. Iar genele ce controlează dezvoltarea celulelor la animale, care săreau de la un cromozom la altul, s-au dovedit a fi o cauză a cancerului.

De asemenea, genele săltărețe (sau transpozonii) oferă o perspectivă cu totul nouă asupra formării și modificării genelor. Din păcate, tinerii dogmatici care au ignorat descoperirile lui McClintock au limitat viziunea asupra genelor și comportamentului lor. Abia în secolul al 21-lea a devenit limpede pentru toată lumea că genele săltărețe au un rol foarte important în cadrul evoluției.

McClintock a murit în 1992. Ce păcat că nu a mai trăit măcar câțiva ani, pentru a vedea descifrarea genomurilor – seturile complete de gene ale bacteriilor, plantelor și animalelor! Acestea au relevat existența genelor săltărețe la o scară extraordinar de mare. La planta arabidopsis, de exemplu, analiștii genomului au identificat 4 300 de elemente mobile care reprezentau cel puțin 10 procente din ADN. Majoritatea genelor din regiunile cu material genetic bogat în transpozoni sunt inactive.

În mod normal, transpozonii nefolositori sunt marcați chimic prin atașarea unor grupări metil (CH_3) – care îi face inactivi. La Institutul Național de Genetică din Japonia, Tetsuji Kakutani și colegii săi au realizat experimente cu o formă a plantei arabidopsis în care mutația unei singure gene a subminat această metilare. Alte gene, în mod normal inactive, erau derepresate, și astfel apăreau efecte accidentale, iar acestea s-au dovedit a fi ereditare. Mutația a destabilizat de asemenea structura genetică a plantei, permițând unor transpozoni să sară. În 2001 echipa a anunțat consecințe remarcabile.

„Era foarte impresionant”, a afirmat Kakutani. „Aveam o formă pitică a plantei, ea însăși produsă de un transpozon care sărise, rezultând astfel un mutant cu procesul de metilare scăzut. Apoi, descendenții săi prezentau o structură mozaicală a formei pe măsură ce salturile continuau. De exemplu, în cazul unei singure plante, un lujer creștea înalt cu frunze normale, în timp ce alte părți rămâneau pitice. Schimbările erau toate ereditare, deci vedeam cu proprii noștri ochi un mecanism natural surprinzător la dispoziția evoluției”.

● Traversând valea morții

Până în acel moment, principala fabrică de evoluție accelerată din lume fusese în Chicago, la Institutul Medical Howard Hughes, de pe East 58th Street. Pe parcursul

câtorva ani, din 1998 până în 2002, Susan Lindquist a relatat despre niște muște, drojdii și plante care arătau foarte ciudat. În aceste cazuri nu erau implicate gene săltărețe, dar, ca și plântuțele lui Kakutani, acestea au oferit o viziune nouă, uluitoare, a modului în care au evoluat speciile. Erau monștrii optimiști.

Acest termen a apărut în biologie în anul 1933, fiind folosit pentru prima oară de Richard Goldschmidt de la Institutul de Biologie Kaiser-Wilhelm din Berlin-Dahlem. Tehnic vorbind, un monstru este o creatură cu deformări structurale. Prin monstru optimist Goldschmidt înțelegea un organism nou destul de bine coordonat, foarte diferit de colegii lui, care apare în timpul unei schimbări evolutive majore. Pentru el, o asemenea creatură ipotetică era necesară pentru a explica salturile ce apar pe parcursul evoluției.

Selecția naturală a lui Darwin acționează favorizând indivizii din cadrul speciei cel mai bine adaptați modului lor de viață. Ea elimină mutațiile dăunătoare într-un mod foarte precaut. Să presupunem că am dori ca un dinozaur înaripat să evolueze într-o pasăre zburătoare. Sunt necesare foarte multe modificări – ale membrelor, mușchilor și creierului, numai pentru început.

Dacă restructurarea s-ar realiza încet, genă cu genă, după cum afirma teoria neodarwinistă nou apărută pe atunci, ar apărea creaturi care nu ar fi nici dinozauri buni, nici păsări bune. Acestea ar fi în schimb selectate pentru a pieri într-o vale a morții, cu mult înainte de a ajunge la sanctuarul Muntelui Pasăre. Goldschmidt avea nevoie de monștri optimiști care să realizeze aceste tranziții mult mai repede.

În Chicago, șase decenii mai târziu, Lindquist și echipa sa au obținut musculițe de oțet cu aripi și ochi deformați. La prima vedere, credeai că este doar o nouă serie de monștri din specia *Drosophila melanogaster*, dintre cele create în mod obișnuit prin mutații genetice, care au populat laboratoarele de genetică timp de multe decenii. Dar la muștele lui Lindquist producția mai multor gene s-a modificat în același timp, devenind astfel monștri optimiști în sensul lui Goldschmidt.

● Nu doar un peiorativ

Pentru a observa asemenea experimente în contextul istoric, vom călători înapoi în timp cu două secole, în Parisul războaielor napoleoniene. În 1809, Jean-Baptiste de Lamarck de la Muzeul Național de Istorie Naturală a dat prima explicație coerentă a evoluției. „El a fost cel dintâi care a făcut gestul remarcabil”, a spus Darwin despre el, „de a atrage atenția asupra probabilității ca toate schimbările atât în lumea organică, cât și în cea anorganică, să fie un rezultat al legii și nu al intervenției miraculoase”.

Lamarck a inventat, de asemenea, termenul de biologie și a clasificat animalele nevertebrate. Însă istoria nu a fost blândă cu el. Termenul „lamarckian” a devenit un peiorativ, folosit pentru a face referire la orice teorie a evoluției considerată ridicolă sau absurdă. Girafa lui Lamarck a obținut gâtul ei lung în maniera celebră: străduindu-se să mănânce frunze din copaci înalți la care alte animale nu

ajungeau. Această practică a influențat urmașii la nivel ereditar. Generație după generație, gâtul ei a devenit din ce în ce mai lung.

A fost un proces foarte lent, credea Lamarck. Însă, privind retrospectiv, există o trăsătură a teoriei sale care s-ar potrivi cu ideea monștrilor optimiști și a evoluției rapide pe care ei ar putea-o face posibilă. Aceasta este posibilitatea ca mai mulți indivizi să treacă simultan prin aceleași modificări, și astfel, crescând șansa de a găsi un partener similar și de a se reproduce, să transmită mai departe schimbările noilor generații.

Concepția lui Lamarck conform căreia caracteristicile dobândite de organisme pe parcursul vieții lor ar putea fi moștenite era în dezacord cu teoria selecției naturale prezentată de Darwin în *Originea Speciilor* (1859). Conform cu această teorie, un animal care are din întâmplare un gât mai lung decât celelalte din turmă poate avea un avantaj când hrana este insuficientă. Este deci mult mai probabil să aibă urmași care supraviețuiesc și care au, de asemenea, gâtul lung. Astfel apare girafa lui Darwin.

În momentul în care teoreticienii au prelucrat ideile lui Darwin în secolul al 20-lea, microbii, plantele și animalele au ajuns să fie privite ca recipiente pasive ale genelor moștenite de la părinții lor. Acestea fie s-au transmis mai departe la generațiile următoare, dacă deținătorii lor au prosperat, fie, în caz contrar, au dispărut. În afara mutațiilor aleatoare, dăunătoare sau favorabile, nimic din ce se întâmplă unei creaturi pe parcursul vieții sale nu ar putea aduce vreo modificare genelor sale. Darwiniștii intransigenți au exclus orice idee conform căreia trăsăturile dobândite ar putea fi moștenite.

Unele efecte observate în experimentele de laborator păreau a fi lamarckiene. În 1953, Conrad Waddington de la Edinburgh a relatat despre niște musculițe de oțet cu aripi anormale, ce au rezultat în urma expunerii embrionilor la o temperatură ridicată, timp de câteva ore. Inițial această expunere avea drept rezultat absența vinișoarelor transversale din aripi, la aproximativ jumătate din musculițele supuse șocului termic. Însă când Waddington a selecționat de două ori consecutiv, în vederea înmulțirii, musculițele lipsite de vene transversale, expunând de fiecare dată embrionii șocului termic, proporția a crescut. În cele din urmă, anormalitatea a persistat și la generațiile care nu au fost expuse la temperaturi ridicate.

Deși a descris rezultatul într-un mod îndrăzneț, ca „Asimilarea genetică a unui caracter dobândit”, Waddington s-a străduit să-l interpreteze în termeni darwiniști. Nu a apărut nicio modificare în gene, a spus el. În schimb, o anumită combinație ascunsă a genelor preexistente a fost favorizată în mediul artificial al experimentului. Mai târziu, el a descris drept „peisaj epigenetic” alegerea rutelor pe care embrionul le-ar urma, pe măsură ce genele și mediul înconjurător ar interacționa în timpul dezvoltării sale.

Waddington a ezitat în fața unei mari descoperiri ce ar fi putut să apară cu mult înaintea vremii sale. El tolera ideile lui Lamarck și critica fățiș teoria neodarwi-

nistă și eșecul acesteia de a explica marile schimbări evolutive. Cu un mic ajutor darwinian, el a realizat câțiva monștri optimiști. Dacă ceilalți ar fi luat mai în serios musculițele sale fără vene transversale, o revoluție în teoria evoluției ar fi putut să înceapă cu 40 de ani mai devreme. Însă înțelegerea exactă a modului în care șocul termic afectează musculițele necesită tehnici ce nu au existat înainte de 1975, anul în care Waddington a murit.

Biologii moleculari au găsit alte fisuri în armura neodarwinistă. Multe gene sunt în surplus față de necesități și rămân inactive. În cromozomii care le transportă, particularitățile chimice de pe genele nenecesare, realizate prin metilare, nu permit mașinăriei celulei să le citească. Însă particularitățile chimice se pot modifica pe parcursul vieții unui organism, activând gene care erau inactive la părinții săi.

Dacă modificările particularităților chimice din gene sunt moștenite de urmașii respectivului organism, atunci particularitățile chimice sunt o formă de ereditate epigenetică – reprezentând ereditatea ce are loc în afara genelor înseși. Atunci când modificarea particularităților nu apare întâmplător, ci ca urmare a interacțiunii organismului cu mediul înconjurător, putem vorbi despre o moștenire a caracteristicilor dobândite, în concordanță cu erezia lui Lamarck.

Importante efecte epigenetice au fost, de asemenea, remarcate de biologii care cercetau modul cum se dezvoltă un ou fertilizat într-o formă adecvată de plantă sau de animal. Aici particularitățile chimice ale genelor joacă un rol important în reglarea procesului. Iar embrionul primește semnale moleculare speciale de la mamă, în mod aproape independent de procesul general al moștenirii ereditare, care îi indică, de exemplu, unde să își dezvolte capul.

În 1995, Eva Jablonka de la Tel-Aviv și Marion Lamb de la Birkbeck College, Londra, au aruncat mănuașă neodarwiniștilor. Într-o carte numită *Ereditate Epigenetică și Evoluție: Dimensiunea Lamarckiană*, ele au trecut în revistă ceea ce se știa despre diferite moduri moleculare ale eredității epigenetice. Ele au prezis apariția unei teorii unificate a geneticii și biologiei dezvoltării, care ar pune de acord selecția naturală și caracteristicile dobândite.

Jablonka și Lamb erau în pas cu vremurile. În anii imediat următori publicării cărții lor, epigenetica a devenit un cuvânt cheie în biologie. Acestui subiect i-au fost consacrate numeroase întâlniri și lucrări științifice. Iar experimentele noi au confirmat forța argumentului lor. În 1999 autoarele au putut afirma, în prefața unei noi ediții a cărții lor: „Opoziția inițială, puternică și aproape unanimă față de unele dintre ideile noastre a fost înlocuită cu o acceptare generală, deși nelipsită de resentimente, a multora dintre ele”.

● Să aduci ouăle la lumina Soarelui?

Cele mai remarcabile dintre noile experimente epigenetice au fost experimentele lui Susan Lindquist de la Chicago, în care a realizat monștri optimiști în clădirea de pe East 58th Street. Dacă aceștia ar trebui sau nu să fie numiți Lamarckieni

este o chestiune controversată. Nici Lamarck, nici Darwin nu au avut nici cea mică idee despre existența dansurilor moleculare, cu gene și particularități chimice. Probabil că a venit timpul ca biologia să lase la o parte vechile dispute, și să se concentreze pur și simplu pe ceea ce monștrii optimiști au de spus, despre cum poate să aibă loc evoluția.

Lucrând cu Suzanne Rutherford, Lindquist a reexaminat mai întâi efectele ereditare ale expunerii embrionilor drosofilelor la temperaturi ridicate, pe care Waddington le cercetase cu mulți ani înainte. Noile tehnici ale biologiei moleculare le-au permis cercetătorilor să urmărească fenomenul cu mai mare exactitate. Ei au dezvăluit primul mecanism molecular cunoscut vreodată, care pune în mișcare procesul evoluției ca răspuns la o modificare a mediului înconjurător.

Experimentele sunt mai ușor de înțeles dacă știi răspunsul de la început. Acesta gravitează în jurul unei molecule numită proteina de șoc termic 90, sau pe scurt Hsp90. Ca și în cazul altor organisme, dacă embrionul drosofilei se încălzește prea tare, el necesită diferite proteine de șoc termic pentru a proteja alte molecule de importanță vitală. Acestea se comportă ca niște însoțitori ai proteinelor nou sintetizate, permițându-le astfel să se plieze în formele adecvate funcționării lor ca enzime sau ca alte părți componente ale celulelor vii.

Hsp90 are și o sarcină de rutină. Chiar și în condiții de temperaturi scăzute, ea însoțește proteine deosebit de importante numite convertoare de semnal. Acestea activează sau dezactivează genele, în funcție de cerințele diferitelor părți ale corpului, pe parcursul dezvoltării de la ou la adult.

Pe scurt, convertoarele de semnal dau formă muștei și tuturor părților sale. Ajutând la formarea convertoarelor de semnal, Hsp90 are cu embrionul în dezvoltare o relație asemănătoare celei dintre un reprezentant al arhitectului și echipa de constructori care ridică o clădire. Dacă acesta a fost neatent, te-ai putea trezi în final cu o structură foarte bizară.

O temperatură ridicată distrage moleculele Hsp90, ce devin atunci un fel de pompieri voluntari. Ele vor trebui să asiste alte proteine de șoc termic ce încearcă să stopeze inactivarea enzimelor vitale. Drept urmare, supravegherea dezvoltării corpului este mai puțin strictă – ca și cum, analogic vorbind, un constructor și-ar permite să spună: „Întotdeauna am visat să montez aici o scară interioară spiralată”. Convertoarele de semnal deficiente pot lăsa să se manifeste înclinații ce sunt latente în genele mușchilor, dar care în mod normal sunt suprimate, pentru a da o nouă formă aripilor, de exemplu.

„Nu pare deloc un lucru bun”, a comentat Lindquist, „și fără îndoială că nici nu este, pentru majoritatea indivizilor. Dar în cazul unora, modificările ar putea fi folositoare pentru adaptarea la un nou mediu. Variațiile genetice criptice astfel exprimate devin surse de evoluție”.

Cum au demonstrat Rutherford și Lindquist acest lucru? În primul rând au început să studieze mușchițe mutante care au moștenit gena ce codifică Hsp90

numai de la un părinte, și nu de la amândoi, ca de obicei. Prin urmare, având provizii reduse de Hsp90, atunci când oamenii de știință au crescut embrionii în condiții de temperatură ridicată, convertoarele de semnal s-au dereglat, în cazul unui număr mic de musculițe.

Populații diferite de musculițe mutante au dat naștere unor monștri caracteristici fiecăreia în parte. Într-o populație au apărut musculițe având aripi cu vene groase, iar în alta, musculițe cu picioare în loc de antene. Era ca și cum câteva gene latente în fiecare populație erau în mod special pregătite să se manifeste liber, cu efecte drastice asupra construcției musculiței.

Acționând la fel cum ar fi făcut selecția naturală într-un mediu neobișnuit, experimentatorii s-au gândit atunci să crească noi populații pornind de la musculițele modificate. Schimbările au fost moștenite. După mai multe generații, nu mai puțin de 90% din musculițe erau în mod vizibil anormale, deși deficitul de Hsp90 dispăruse.

Încrucișarea diferitelor tipuri de musculițe modificate a făcut să crească rapid numărul genelor afectate. Această evoluție în laborator a dat naștere unor monștri optimiști cu multe gene latente rapid selectate pentru o activitate neobișnuită. Nu a fost nevoie să apară nicio mutație genetică nouă, așa cum s-ar fi așteptat neodarwiniștii.

Dacă privești experimentele pe musculițe ca pe o simulare a ceea ce s-ar putea petrece în lumea reală, șansele de supraviețuire a monștrilor optimiști sunt mult mai mari deoarece sunt mai mulți. În viziunea tradițională, mutațiile genetice apar la câte un singur individ și trebuie apoi să lupte, având puțini sortți de izbândă, pentru a deveni larg răspândite. În scenariul neodarwinist, până și găsirea unui partener ar fi o problemă pentru un animal mutant.

Experimentul Rutherford-Lindquist a demonstrat că modificări similare apar la mai mulți indivizi în același timp – deși aceștia reprezintă un mic procent din întreaga populație. Aceasta înseamnă că o formă nouă, lansând câteva gene anterior inactive, ar putea deveni predominantă într-o populație aproape instantaneu. Și aceasta fără a fi nevoie de modificarea vreunei gene printr-o nouă mutație. În aceste experimente noile caracteristici nu sunt „dobândite” din mediul înconjurător, ci „aduse la lumină” de către acesta.

Aici s-a găsit în cele din urmă o explicație a faptului că noile specii apăreau atât de brusc în dovezile fosile ale vieții pe Pământ. Probabil că dacă am aduce puțin la lumina Soarelui din mezozoic câteva ouă vii de dinozaur înaripat, am putea obține câteva din schimbările rapide ale planului corpului necesare producerii unei păsări. Însă asocierea descoperirilor din laborator cu evenimentele reale ale evoluției trecute și prezente din natură ar necesita zeci de ani de cercetări. Pentru început, asemănările strânse între genomurile organismelor înrudite ar trebui să dezgroape unele dintre schimbările bruște din trecut care au afectat mai multe gene în timpul dezvoltării embrionare, fie datorită acțiunii neglijente a proteinei de șoc termic, fie datorită altor mecanisme moleculare.

● De la vacile nebune la drojdia proaspătă

Împreună cu echipa sa de la Chicago, Lindquist s-a dedicat cercetării medicale care s-a extins în întreaga lume după izbucnirea bolii vacii nebune în Marea Britanie. Un nou tip de agent cauzator a fost implicat, o formă modificată a unei proteine numită prion. În anii 1996–1997, Lindquist a ajutat la confirmarea biologiei moleculare a vacilor nebune, studiind un prion mai puțin periculos care apare în drojdia de bere. Numit Sup35, acest prion al drojdiei poate genera fibre, când o formă greșită a moleculei determină moleculele normale Sup35 să adopte forma ei defectă.

Împreună cu Heather True, Lindquist a încercat să descopere ce funcție ar putea să aibă prionul. De ce trebuie drojdia să tolereze o substanță potențial periculoasă în compoziția sa moleculară? Răspunsul a venit când cercetătorii au văzut la microscop drojdia infectată schimbându-și înfățișarea. Aceasta s-a întâmplat când au expus drojdia la stres ambiental, schimbându-i hrana sau expunând-o la otrăvuri slabe. Prionul drojdiei s-a dovedit a fi un agent al evoluției prin modificare epigenetică.

În ceea ce privește proteina de șoc termic de la drosofile, efectul său era să activeze gene anterior inactive. În cazul de față, efectul molecular consta în a permite mașinării celulei să ocolească semnele „stop” din codul genetic, care în mod normal ar împiedica fabricarea anumitor proteine. Iată că, din nou, prionul permitea unor celule să exploateze variații latente în mai multe gene în același timp, și astfel să prospere într-un mediu în schimbare. În soiurile modificate, inovațiile genetice erau moștenite chiar și atunci când prionul însuși ieșea din scenă. Lindquist a înăbușit imediat orice deducție conform căreia boala vacii nebune ar putea fi un lucru bun. Dar a purtat, după cum se poate presupune, o bătălie cu dogmaticii neodarwiniști. Pentru ei a fost destul de supărător să afle că formele prionilor reprezintă un nou tip de ereditate aproape insesizabil în contorizările lor minuțioase ale genelor. Faptul că au fost prezentate acum ca un mecanism al evoluției, contribuind la rezolvarea enigmei evoluției bruște prin modificări simultane care afectează mai multe gene, a fost mult prea mult pentru neodarwiniști.

Datorită influenței lor, revista *Nature* nu a putut publica rezultatele lui True și ale lui Lindquist referitoare la prioni fără o punere la punct în același număr. Criticii britanici au declarat fățiș că evoluția concertată a modificărilor genetice independente nu era o enigmă. „Puterea selecției naturale constă în faptul că adună la un loc o serie de modificări, fiecare testată individual; e puțin probabil ca mecanismele care produc variații mari, ce implică mai multe schimbări aleatorii, să fie folositoare”.

Așa cum se întâmplă cel mai adesea cu revoluțiile științifice, era greu să nu-ți pară rău pentru evoluționiștii care și-au văzut edificiul vechi de 100 de ani spulberat. Pentru a fi imparțiali, ar trebui spus că descoperirile epigenetice nu erau numai eretice, ci și foarte surprinzătoare.

● Departe de a fi monstruoase

Plantele au și ele proteine de șoc termic. Împreună cu Christine Queitsch și Todd Sangster, Lindquist a făcut Hsp90 indisponibilă în răsadurile de arabidopsis, folosind inhibitori chimici. Din nou, au rezultat tot felul de organisme ciudate, de exemplu, cu forme și culori modificate ale frunzelor.

De această dată, echipa de la Chicago a refuzat să le numească monstruoase. Deși uneori foarte diferite de planta arabidopsis comună, unele dintre răsadurile modificate păreau deja niște plante destul de inteligente. Puteai chiar ghici cum s-ar potrivi mai bine decât strămoșii lor în anumite cadre ambientale.

Pe când raportul arabidopsis a fost terminat, în 2002, Lindquist se mutase la Massachusetts unde devenise directorul Institutului de Cercetare Biomedicală Whitehead. A luat cu ea mai mulți membri ai echipei sale cu care realizase monștri, și publicul spectator se întreba ce va mai urma. Însă, așa cum unul dintre experimentatorii pe arabidopsis a avut grijă să sublinieze, relevanța evolutivă a monștrilor optimiști nu fusese încă verificată.

„Nu am realizat încă experimente riguroase pentru ca această ipoteză să fie pe deplin acceptată de comunitatea specialiștilor în biologie evolutivă”, a remarcat Sangster. „Așadar este o situație destul de diferită de cea a transpozonilor lui Barbara McClintock, în cazul cărora există nenumărate dovezi”.

Cel mai incitant și mai provocator lucru pentru tinerii biologi este reunificarea activă a științelor ce este implicată în monștrii optimiști. Microbii, plantele sau animalele nu mai pot fi considerate recipiente pasive ale genelor active. Ele au resurse genetice ascunse pe care le pot accesa în perioadele de stres. Folosind tehnici de dezvoltare a embrionului, ele se pot transforma extrem de rapid, ca răspuns la condițiile din mediul înconjurător în schimbare. Prin descoperirile lor, geneticienii moleculari au convocat adunarea grupărilor evolutive, ecologice și de dezvoltare, care se poate lansa acum în teritorii necunoscute, într-o nouă etapă a efortului uman de a înțelege ce este viața.

- *Referitor la povestea neodarwiniștilor, vezi EVOLUȚIA. Pentru experiențe vizibile în dovezile fosile, vezi EXPLOZIA CAMBRIANĂ și ORIGINEA UMANĂ. Subiecte înrudite sunt EVOLUȚIA MOLECULELOR, PRIONII și EMBRIONII.*



NUCLEUL SOLAR

*Cum a devenit transparentă steaua noastră mamă,
datorită undelor sonore*

MUNTELE WILSON ARATĂ DE-A DREPTUL IMPUNĂTOR, așa cum se înalță deasupra suburbiilor orașului Los Angeles, propulsat către cer de deformările faliei San Andreas, unde fâșia de coastă californiană se strecoară peste continent. Cu o altitudine de numai 1 500 m, acest munte pare doar o simplă movilă în comparație cu crestele semețe alese pentru amplasarea unor telescoape moderne, însă tocmai aici Edwin Hubble a descoperit expansiunea Universului, la sfârșitul anilor 1920. Și tot Muntele Wilson a fost, de asemenea, scena a două dintre cele trei descoperiri majore cu privire la Soare, realizate în timpul secolului al 20-lea.

În 1908, George Hale, fondatorul observatorului, a măsurat câmpul magnetic solar cu ajutorul efectului Zeeman, care modifică lungimea de undă a luminii. Zonele mai întunecate numite pete solare s-au dovedit a fi de fapt suprafețe caracterizate de un magnetism intens, iar străfulgerările luminoase cunoscute sub denumirea de explozii solare au fost explicate, în cele din urmă, ca explozii magnetice. Faptul că numărul petelor solare crește, scade și iarăși crește în cicluri de aproximativ 11 ani este strâns legat de variațiile majore ale câmpului magnetic solar. Totodată, Soarele își inversează polii magnetici nord și sud la fiecare perioadă de maxim al petelor solare, când activitatea magnetică generală în atmosfera încărcată atinge de asemeni un maxim.

La o jumătate de secol de la descoperirea inovatoare a lui Hale despre magnetismul solar, și la 20 de ani de la moartea sa, în 1938, unul din vechile sale telescoape de pe muntele Wilson a reușit să deschidă o fereastră către interiorul stelei noastre mamă. La început era abia întredeschisă. Dar de aici s-a inspirat o nouă știință, care la sfârșitul secolului era deja capabilă să găsească sursele magnetismului și, în final, „să vadă” direct prin Soare.

Robert Leighton era un fizician specialist în fizica particulelor de la Caltech, în apropierea muntelui Wilson, și de aceea observatorul de aici i s-a părut convenabil pentru un experiment cu raze cosmice. Aparatura lui Hale l-a făcut curios. În timp ce o repara pentru a o putea refolosi, a început să se întrebe dacă nu cumva pe suprafața Soarelui ar putea exista anumite unde, sau valuri, exact ca pe o mare. Dacă ar fi așa, atunci lungimile de undă ale luminii ar fi trebuit să se scurteze sau

să se lungească datorită efectului Doppler, după cum razele solare se duceau înspre sau se întorceau dinspre telescop.

Leighton a căutat aceste unde și le-a găsit. Însă în loc să fie turbulentă, întreaga suprafață vizibilă a Soarelui pulsa într-un mod neobișnuit de ritmic. În 1959 Leighton i-a spus unui doctorand: „Știu ce vei studia tu pentru teza de doctorat. Soarele este un oscilator cu o perioadă de 300 de secunde”.

Cu alte cuvinte, își fredonează singur. Undele sonore ale Soarelui sunt mult prea joase pentru a putea fi percepute de urechea umană, chiar dacă ar putea traversa spațiul interplanetar, însă observațiile amănunțite ale mișcării de suprafață au indicat o multitudine de note individuale, ca într-un acord muzical. Toate aveau frecvențe apropiate de un ciclu la 300 de secunde, după cum prevăzuse Leighton. La un sfert de secol după descoperirea sa, un luxmetru al proiectului NASA Solar Maximum Mission a detectat o variație periodică a intensității luminii solare cu aceeași perioadă de 5 minute.

Leighton le-a lăsat altora sarcina de a găsi explicații și întrebunițări ale oscilațiilor solare. Douglas Gough de la Cambridge a sintetizat importanța a ceea ce se poate face cu aceste informații, denumind această nouă specialitate – helioseismologie. Helios înseamnă Soare, iar seismologia reamintește utilizarea undelor seismice la sondarea nucleului proprii noastre planete. În cazul Soarelui, vibrația este continuă și are o intensitate constantă.

Propagându-se în interiorul Soarelui, undele sonore „simt” straturile și dinamica gazelor fierbinți de la mari adâncimi. Când undele își fac din nou apariția la suprafață, oamenii de știință pot deduce ceea ce se petrece înăuntru. Gough a explicat că „e ca și cum am încerca să recunoaștem un instrument muzical pe care nu l-am văzut niciodată, doar după sunetul pe care îl produce”.

● Nevoia de continuitate

Helioseismologii n-au început de la zero. Soarele este o minge de gaze de 333 000 de ori mai masivă decât Pământul și de mai mult de un milion de ori mai mare în volum. Dar trebuie ca această minge să se supună binecunoscutelor legi ale comprimării gravitaționale și ale căldurii, iar acest lucru le-a permis teoreticienilor să stabilească o imagine, chiar dacă în linii mari, despre cum ar arăta nucleul Soarelui și al altor stele.

„Este posibil să determinăm cât de repede crește presiunea pe măsură ce intrăm tot mai adânc în Soare, și cât de repede trebuie să crească temperatura pentru a face față presiunii”, explica Arthur Eddington de la Cambridge în 1926. „E firesc să fiți sceptici față de afirmația că știm temperatura exactă din nucleul unei stele – și poate veți fi și mai sceptici când vă voi divulga cifrele exacte.”

Eddington a sugerat că temperatura nucleului solar ar fi de 40 de milioane de grade Celsius și, cu toate că ulterior s-a revenit la doar 15 milioane de grade Celsius, era încă suficient de fierbinte pentru a se putea desfășura acolo reacții

nucleare. În 1938, Hans Bethe de la Cornell a identificat sursa energiei solare ca fiind o serie de reacții de fuziune ce transformă hidrogenul în heliu, aceasta reprezentând una dintre descoperirile importante din secolul al 20-lea, referitoare la Soare.

Imaginea interiorului Soarelui, așa cum apărea în noua sa perspectivă, era cea a unui nucleu foarte fierbinte și dens, înconjurat de un strat gros, și care se rotea ca o minge aproape solidă în jurul axei nord-sud. Aceasta este numită zona radiantă, iar de aici căldura din centru se propagă lent la suprafață sub formă de raze X. Deasupra zonei radiante se află zona de convecție, prin care căldura este transportată la suprafața vizibilă sub forma unor turbulențe asemănătoare cu fierberea într-un ibric. Observațiile făcute la suprafață au arătat că aceasta se rotește mai repede la ecuator decât la poli.

Pe măsură ce helioseismologia a progresat, această viziune generală a fost confirmată. Oscilațiile observate le-au permis cercetătorilor să deducă viteza undelor sonore la diferite adâncimi în interiorul Soarelui și să compare rezultatele cu valorile prezise de teorie. În 1990, o schimbare bruscă a variației vitezei sunetului, la 29% din distanța către centru, a permis identificarea limitei dintre zona de convecție și cea radiantă – la o adâncime mai mare decât se credea anterior.

Înregistrarea cu mare precizie a oscilațiilor solare era o sarcină ce impunea o supraveghere continuă, neîntreruptă, timp de câteva luni succesiv. Eric Fossard și Gérard Grec din Nisa au profitat de Soarele de la miezul nopții de la Polul Sud, iar fizicienii americani le-au urmat exemplul. Echipele din Birmingham și din Nisa au creat de asemenea instrumente ce puteau fi dispuse în rețele în diferite zone din întreaga lume. Acestea erau telescoape relativ simple ce monitorizau oscilațiile Soarelui.

Observatorul Solar Național (US National Solar Observatory) din Arizona, SUA, și-a propus realizarea unui proiect și mai ambițios, cu ajutorul Fundației Științifice Naționale (National Science Foundation). Oscilațiile dintr-un număr mare de puncte de pe suprafața vizibilă a Soarelui erau măsurate cu dispozitive Doppler, fiind grupate într-o rețea de alte instrumente amplasate la sol, numită GONG (Global Oscillation Network Group).

Observatoarele solare de la Big Bear (California), Learmonth (Australia), Udaipur (India), Teide (Tenerife), Cerro Tololo (Chile) și Mauna Loa (Hawaii) și-au început activitatea în 1995. În total, în proiectul GONG erau implicate 67 de instituții din 20 de țări. Însă în anul 2000 instrumentele folosite de GONG au trebuit să fie modernizate, deoarece între timp Universitatea Stanford s-a impus cu un instrument similar în spațiu.

● Pete solare în zona îndepărtată

MDI-ul, așa cum este prescurtată denumirea sobră a dispozitivului de detecție a petelor solare Michelsen Doppler Imager, a fost transportat pe nava spațială

americano-europeană SOHO, împreună cu alte instrumente helioseismice mai simple, oferite de echipele franceză și elvețiană. Produs pentru Stanford de către inginerii și oamenii de știință de la Lockheed, dispozitivul MDI măsoară oscilațiile dintr-un milion de puncte de pe suprafața vizibilă a Soarelui. Necesitatea continuității observațiilor a fost satisfăcută de staționarea navei SOHO în spațiu, ceea ce a permis dispozitivului MDI să monitorizeze Soarele timp de 24 de ore din 24. Singura limitare era sistemul de comunicare al navei, care restricționa cantitatea de date transmisibilă către Pământ.

Începând din 1996, pe măsură ce a revelat interiorul solar, aparatul MDI de pe naveta SOHO a ținut prima pagină atât în presa științifică cât și în cea publică. El a descoperit, de exemplu, că primul strat gros de 24 000 de kilometri din scoarța Soarelui alunecă ușor de la ecuator către poli. În jurul fiecărui pol circulă cu mare viteză, sub suprafață, un jet de gaze. MDI a măsurat adâncimea caracteristicilor suprafețelor cunoscute și a evidențiat curenți de gaz convergenți în jurul câmpurilor magnetice ale petelor solare.

O tehnică analitică numită tomografie solară, inventată în 1993 de către Thomas Duvall de la Centrul Spațial al NASA Goddard, a contribuit cu unele dintre cele mai spectaculoase rezultate. S-au comparat valorile variabile ale vitezei sunetului din diferite zone ale Soarelui, deduse din timpul de sosire al pachetelor de unde sonore la suprafața vizibilă a Soarelui mai apropiată de noi. Temperatura, câmpurile magnetice și curenții de gaz influențează viteza undelor sonore, la fel ca diferitele obstacole pe care le întâmpină alergătorii de curse pe teren variat.

În felul acesta, dispozitivul MDI a reușit să detecteze zone de turbulență în partea mai îndepărtată a Soarelui de planeta noastră, unde apăreau petele solare. Charles Lindsey de la Compania de Cercetare a Fizicii Solare (Solar Physics Research Corporation) din Arizona și Douglas Braun de la Asociația Nord-Vestică pentru Cercetare (NorthWest Research Associates) din Colorado au examinat inelele ample ale undelor sonore emenate de fiecare mică regiune din partea îndepărtată. Acestea ajung în partea apropiată după ce ricoșează în interior de la suprafața solară.

Petele solare fac ca suprafața Soarelui să fie plină de încrețituri. Câmpurile lor magnetice puternice amplifică viteza undelor sonore. Deci, dacă pe partea îndepărtată ar exista un grup de pete, undele sonore ar ajunge de acolo până la partea apropiată cu 10 secunde mai devreme decât ajung alte unde emise de regiunile unde nu există pete, la o durată totală a propagării de circa 4 ore. Analiza atentă a datelor transmise prin radio de pe naveta SOHO a confirmat realitatea acestui efect.

Detectarea petelor în zona îndepărtată ne avertizează cu o săptămână înainte de turbulențele ce vor apărea pe măsură ce Soarele se rotește, și care pot cauza explozii solare puternice și eliberarea bruscă de gaze aflate sub presiune, ceea ce ar putea afecta vremea spațială, precum și pe cea terestră. Philip Scherrer de la

Stanford, responsabil de funcționarea dispozitivului MDI, a fost mulțumit dar nu și surprins de acest tur de forță. În 2001, acesta remarcă: „Atunci când am început să lucrăm cu SOHO, acum 5 ani, cei mai mulți experți spuneau că e imposibil să vedem prin Soare. Acum facem asta în mod curent și în timp real. Pentru scopuri practice, noi am făcut Soarele transparent.”

Studiile făcute pe zona apropiată a Soarelui au arătat cum începe formarea petelor și cum se dezvoltă acestea ulterior. Specialiștii MDI au descoperit că undele sonore începeau să se propage din ce în ce mai repede în regiunea în care urmau să apară pete solare. Nu trecea mai mult de o jumătate de zi de când se înregistrau aceste semne de activitate magnetică neobișnuită la mare adâncime în nucleul Soarelui și până la apariția unui grup de pete întunecate pe o suprafață nepătată anterior.

„Petele solare apar atunci când câmpul magnetic intens străpunge suprafața vizibilă”, a spus Alexander Kosovichev de la Stanford. „Putem vedea liniile câmpului magnetic tășnind ca o arteziană, mult mai rapid decât ne-am fi așteptat”. Regiunea caracterizată de acest puternic magnetism se înalță de la o adâncime de 18 000 de kilometri, cu o viteză de 4 500 de kilometri pe oră și antrena cu ea o coloană de gaz lată de 20 000 de kilometri.

La o adâncime de 4 000 de kilometri de suprafață, câmpul magnetic s-a descălcit precum o frânghie împletită, în suvițe, individualizând petele solare ce formau un grup. Sub cea mai mare dintre pete s-a format imediat o pernă de gaz ceva mai rece, mult mai puțin magnetizat.

Fizicienii știau deja că magnetismul intens al petelor blochează fluxul normal al energiei care ascensionează din interior, făcând astfel ca pata solară să fie mai rece și deci mai întunecată decât împrejurimile ei. Dispozitivul MDI a arătat că această legătură este de fapt un vortex. Gazele fierbinți din apropierea suprafeței solare converg și se scufundă în interior cu viteze de peste 4 000 de kilometri pe oră.

Astfel câmpul magnetic se intensifică, iar petele solare pot persista mai multe zile sau săptămâni. Căldura absorbită în interior revine la suprafață în altă parte și acest lucru ne ajută să explicăm de ce, în mod paradoxal, Soarele este mai strălucitor în ansamblu, atunci când suprafața sa este acoperită cu pete solare.

● Puls accelerat sau câmp mai vechi?

Așa cum am menționat înainte, gazul de la ecuatorul solar se rotește mai repede în jurul axei nord-sud decât cel de la poli. Această diferență apare numai în zona exterioară a Soarelui, cea de convecție. Partea interioară, zona radiantă, se rotește rigid, cu aceeași viteză ca și gazul îndepărtat la 30 de grade nord sau sud de ecuator.

La alte latitudini, diferențele vitezelor de rotație ale cele două zone pot genera, la suprafața lor de separație aflată la o adâncime de peste 200 000 de kilometri de suprafața vizibilă a Soarelui, un dinam care generează câmpul magnetic solar.

Pulsațiile lente ale gazului fierbinte, asemănătoare unui puls solar, ar putea explica creșterile și descreșterile manifestărilor vizibile ale câmpului magnetic solar în timpul unui ciclu de 11 ani de apariție a petelor solare. De aceea, demonstrarea existenței acestui ipotetic dinam a devenit scopul declarat al unor helioseismologi.

Detectarea pulsului solar, anunțată în 2001, a constituit o surpriză care multora le-a dat de gândit. Succesul operațiunii a fost asigurat de combinarea observațiilor făcute de rețeaua terestră GONG cu rezultatele obținute de dispozitivul MDI de pe nava SOHO, aflată în spațiu. La adâncimea unde se presupunea că ar exista dinamul, analiștii au descoperit curenți de gaz care accelerau și apoi încetineau, la fel ca și sângele prin artere.

Diferența de viteză dintre straturile aflate sub și deasupra dinamului poate varia cu până la 20% în 6 luni. Când gazele de la adâncime accelerează, cele din straturile superioare își încetinesc mișcarea, și invers. Din observațiile făcute în intervalul mai 1995 – noiembrie 1999, aceste alternări ale vitezei au apărut de 3 ori, indicând o rată a pulsului mult mai accelerată decât era de așteptat.

„Am fost foarte bucuroși când am văzut că primele dovezi ale modificărilor sunt foarte aproape de regiunea presupusului dinam, regiune ce generează câmpul magnetic solar pe scară largă și despre care se crede că ar determina ciclul solar”, a afirmat Rachel Howe de la Observatorul Național Solar al SUA (US National Solar Observatory), coordonatoarea proiectului. „Am fost însă foarte surprinși când ne-am dat seama că modificările durează atât de puțin – cam 16 luni, față de cei 11 ani cât durează ciclul solar.”

Douglas Gough de la Cambridge a fost mai puțin impresionat de acest rezultat decât alți fizicieni implicați în studii solare. El nu avea nevoie de inventarea unui dinam pentru a putea explica magnetismul Soarelui. În schimb, a presupus că un câmp magnetic mai vechi reușește să străpungă din interior până în zona de convecție.

Ca dovadă indirectă, el a menționat ușoara creștere a vitezei sunetului măsurată de SOHO în așa-zisul strat al dinamului. Era cu doar 0,2% mai mare decât se aștepta, însă a atribuit această discrepanță unei activități intense ce ar fi lăsat în zona respectivă mai puțin heliu decât prezicea teoria. Acesta nu este heliu rezultat în urma reacțiilor nucleare din nucleul solar, care rămâne acolo în adâncime, ci heliu primordial, care se găsește în întreaga stea încă de la formarea ei.

„Soarele seamănă oarecum cu sucul de portocale”, a explicat Gough. „Dacă nu este agitat mai mult timp, pulpa fructului se va depune. De fapt, Soarele e alcătuit în principal din hidrogen și heliu, hidrogenul reprezentând, în această analogie, apa, iar heliul – fiind mai greu – portocala. Mișcarea circulatorie dintre straturi aduce iarăși heliul în zona de convecție.”

În viziunea lui Gough, zona radiantă din profunzime ce se rotește în mod rigid este întărită de un câmp magnetic universal, asemănător cu cel terestru, cu linii de câmp care ies dintr-un pol și intră în celălalt pol, însă probabil de o mie de ori

mai intens. Acest câmp magnetic există încă de la formarea Soarelui, în urmă cu aproximativ 4,6 miliarde de ani, și a rezistat gazelor din zona exterioară de convecție, care încearcă să se adăpostească aici. Gazul descendent este respins în zona de convecție, antrenând cu el nu doar heliu, ci și magnetismul eliberat de zona radiantă.

Câmpul intern este eliberat în zonele în care vitezele de rotație ale celor două zone – radiantă și de convecție – sunt identice, în benzile cuprinse între 30 de grade latitudine nordică și respectiv sudică față de ecuatorul Soarelui. Numai acolo se pot uni liniile câmpului magnetic, între cele două zone. Această predicție contrazice teoria dinamului, care se bazează pe diferențele dintre vitezele de rotație ale celor două zone. Gough considera că nu este o coincidență faptul că primele pete solare din fiecare nou ciclu apar de obicei la 30 de grade față de ecuator.

● Variații enigmatice

În alte privințe, câmpul magnetic primordial al Soarelui se menține departe de anomaliile magnetice ale zonei de convecție. El nu-și inversează sensul, schimbând polul nord cu polul sud la fiecare 11 ani, așa cum se întâmplă cu câmpul magnetic solar exterior. Un regim diferit și mult mai dinamic acționează în zona de convecție, ducând la apariția de noi pete solare tot mai aproape de ecuator, și din ce în ce mai numeroase. Apoi, când numărul lor scade, regiunile cu o anumită polaritate magnetică migrează spre poli, pentru a stabili noua configurație de la nord la sud sau de la sud la nord și pentru a anunța într-un fel un nou ciclu solar.

Ciclul petelor solare este, prin urmare, un ciclu magnetic. În principiu, vitezele diferite de rotație ale gazului la diverse latitudini pot duce la torsionarea și intensificarea câmpului magnetic din interiorul zonei de convecție. Aceasta creează anumite tensiuni, pe care activitatea petelor solare le eliberează și în cele din urmă le anulează complet. Și totuși, la aproape un secol de când Hale a descoperit straniul magnetism exterior al Soarelui, nu există încă o teorie general acceptată care să descrie cu exactitate ce anume se întâmplă în zona de convecție pentru a da naștere ciclurilor petelor solare.

Și, cu atât mai puțin, nu s-a putut găsi vreo explicație a faptului că aceste cicluri variază considerabil ca intensitate și ca durată. Această enigmă ne preocupă în mod activ, deoarece aceste variații ale activității magnetice solare afectează Pământul. În secolul al 20-lea, petele solare au devenit tot mai numeroase, iar câmpul magnetic al Soarelui în apropierea planetei noastre și-a dublat intensitatea. Pe de altă parte, în urmă cu aproximativ 300 de ani, activitatea petelor solare încetase aproape complet.

Observatorul de pe Muntele Wilson a fost utilizat în cadrul unui proiect demarat în 1966, având ca scop monitorizarea ciclurilor magnetice ale altor stele. Zece stele asemănătoare Soarelui au prezentat cicluri cu durate de 8–12 ani. În 1980, steaua 54 Piscium și-a încetat brusc activitatea magnetică, exact așa cum făcuse

și Soarele în urmă cu 300 de ani. Ciclurile ei au încetat și steaua 54 Piscium a rămas stabilă din punct de vedere magnetic în timpul deceniilor următoare.

Dacă variațiile ar fi fost complet aleatoare, ele ar trebui să fie mai puțin enigmatice. Însă s-au strâns destule dovezi care arată că Soarele își schimbă comportamentul magnetic destul de ritmic. Recent s-a descoperit că răcirile bruște ale Pământului, cunoscute și sub denumirea de fenomene glaciare, apar la intervale de circa 1 400 ani și coincid cu perioadele de activitate magnetică solară redusă.

Au fost propuse și alte ipoteze ale alternanțelor dintre activitatea intensă sau slabă, bazându-se fie pe dovezi directe privitoare la petele solare, fie indirecte, cum ar fi variația vitezei de producere a elementelor radioactive din atmosfera Pământului, care crește atunci când activitatea Soarelui scade. Cel mai cunoscut astfel de ritm durează cam 200 de ani. Uneori este numit ciclul Suess, după numele lui Hans Suess de la UC San Diego, cel care l-a descoperit în variațiile ce apar la producerea carbonului radioactiv observate în inelele copacilor, pe perioade de mii de ani.

O explicație a comportamentului ciclic pe termen lung – singura, până în momentul de față – susține că ritmicitatea este provocată de influența gravitațională a planetelor ce se rotesc în jurul Soarelui. Știrea cea mai importantă pentru astronomia anilor 1990 a fost că planetele fac stelele să oscileze, și astfel s-au descoperit planete orbitând în jurul altor stele. Însă numai câțiva oameni de știință au acceptat ideea că magnetismul solar ar putea fi controlat de perturbări similare.

Când planetele sunt distribuite uniform pe orbitele lor, centrul de masă al sistemului solar e foarte apropiat de centrul Soarelui. Dar atunci când cele mai masive planete – Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun – se află toate de aceeași parte a Soarelui, centrul de masă al întregului sistem solar e localizat în afara Soarelui, iar Soarele va fi obligat „să danseze” în jurul acestui centru. Datorită vitezelor diferite de rotație ale planetelor în jurul Soarelui, propria rotație a acestuia în jurul centrului de masă este foarte complicată, și se poate modifica radical în decurs de numai câțiva ani.

Oamenii de știință care emit ipoteze referitoare la influența asupra activității magnetice a Soarelui bănuiesc că o viteză mare de schimbare a mișcării de rotație (momentul cinetic) este factorul cel mai probabil. Mișcările planetelor sunt deja un lucru familiar, iar vibrațiile și devierile bruște de pe orbită sunt complet calculabile. Un ciclu fundamental astfel generat durează 179 de ani și ar putea corespunde ciclurilor Suess de aproximativ 200 de ani.

Ciclurile petelor solare cu numărul 21 și 22, cu maxime în anii 1980 și respectiv 1990, au fost intense în comparație cu cele din ultimii 200 de ani și au fost depășite doar o dată din 1780 încoace. Cu toate acestea, experții consideră la unison că următorul apogeu, prevăzut în jurul anului 2000, va fi la fel de puternic. Ivanka Charvátová de la Institutul de Științe Geofizice al Academiei Cehe din Praga a contrazis aceste teorii. Ea a făcut o predicție bazată pe comparații

amănunțite ale comportamentului solar ca răspuns evident la mișcările neuniforme, urmărit pas cu pas în decursul ultimilor 179 de ani de perioade orbitale.

„Actualul ciclu 22”, a afirmat Charvátová în 1990, „este probabil ultimul dintre cele intense. Ar trebui să fie urmat de o perioadă de 40 de ani în care mișcarea solară va fi dezordonată, iar activitatea Soarelui va fi prin urmare foarte scăzută. Probabil că aceste cicluri vor fi mai lungi și mai neregulate.”

Și totuși, ea ar putea avea dreptate. Maximul de pete solare din ciclul 23, care s-a manifestat în anul 2000, a fost cu 25% mai mic decât în ciclurile anterioare. Rămâne de văzut dacă ciclurile următoare vor fi chiar mai scăzute în intensitate, conform predicției ei. Chiar dacă va fi așa, aceasta nu va fi în favoarea efectului planetelor, căci scepticii vor spune că Soarele pur și simplu va reveni la normal după o serie de turbulențe. Tot ce putem face este să ne păstrăm mintea deschisă față de eventualele teorii și să așteptăm o teorie acceptabilă fie din partea fizicienilor ortodocși specialiști în studii solare, fie de la cei care pledează în favoarea influenței planetare, care să explice exact modul în care zona de convecție a Soarelui decide câte pete solare vor fi de data aceasta.

- *Pentru efecte exterioare ale magnetismului solar în atmosfera solară, în spațiul interplanetar și în vecinătatea Pământului, vezi VÂNTUL SOLAR și VREMEA SPAȚIALĂ. Pentru mai multe detalii despre influența Soarelui asupra climatului terestru, vezi LUMINA PĂMÂNTULUI și FENOMENELE GLACIARE. Pentru astero-seismologie sau cercetarea stelelor cu ajutorul undelor sonore, vezi STELELE.*



ORIGINEA UMANĂ

De ce majoritatea acestor resturi fosile aparțin stră-mătușilor?

URMÂND CURSUL RÂULUI DÜSSEL la est de orașul Düsseldorf din Germania, vei ajunge curând într-o vale cunoscută sub numele de Neanderthal. Aici, în 1856, într-o peșteră, câțiva muncitori au găsit oase umane semnificativ diferite de cele ale omului modern. Treizeci de ani mai târziu, omul de Neanderthal și-a asigurat statutul de specie extinsă a rasei umane când oseminte asemănătoare s-au găsit la Spy în Belgia, împreună cu unelte și oase de animale demult dispărute.

În secolul al 20-lea, rămășițe de neanderthalieni au fost găsite peste tot în Eurasia. Imaginea inițială a unor creaturi cu umerii aplecați a fost corectată. Aceștia erau robuști, cu mersul vertical și creierul de dimensiuni mari și erau, de asemenea, vânători-culegători iscusiți. Erau în mod obișnuit descriși drept ultimul pas pe calea evoluției de la maimuță la om.

Această idee a fost pusă la îndoială de rămășițele mult mai modernului om de Cro-Magnon, care a coexistat cu neanderthalienii în Europa. Schelete mai vechi, cu o constituție mai fragilă și cu fruntea înaltă au fost descoperite în Asia de Sud-Vest și în Africa. Cercetarea genetică a propriilor noastre subspecii a indicat originea noastră comună într-o Eva din Africa, ce a trăit acum 150 000 de ani.

În 1997, Svante Pääbo de la München și colegii săi au dat lovitura de grație ipotezei că suntem descendenți direcți ai omului de Neanderthal. Aceștia au recuperat material genetic vechi de 30 000 de ani – acid dezoxiribonucleic sau ADN – dintr-un os al mostrei originale găsite în Neanderthal. Comparatiile cu ADN-ul omului modern au arătat că ultimul nostru strămoș comun cu neanderthalienii care avea acest fragment de ADN a trăit probabil acum 550 000 de ani. Acest lucru înseamnă că primii locuitori din Düsseldorf nu au fost străbunicile noastre, ci stră-mătușile.

Pääbo a devenit celebru pentru prima dată în 1985, când a extras ADN de la mumiile egiptene, în timp ce era încă doctorand în Uppsala natală. El a încercat să obțină ADN de la fosile chiar mai înainte de apariția romanului SF „*Jurassic Park*” (1990) al lui M. Crichton – în care dinozaurii au fost recreați din ADN-ul recuperat de la musculițe mușcătoare fosilizate. Pääbo a observat că, în realitate, ADN-ul se degradează destul de repede chiar și în fosilele bine conservate, iar contaminarea cu ADN modern este foarte greu de evitat.

Deși nu era la fel de spectaculoasă ca dinozaurii imaginari ai lui Crichton, obținerea ADN-ului vechi de 30 000 de ani de la un neanderthalian a fost considerată un tur de forță. Aceasta s-a bazat pe reacția de polimerizare în lanț, sau RPL, inventată în 1983 pentru a multiplica fragmente foarte scurte de ADN. Referitor la rezultatul obținut, Pääbo a spus: „Am ajuns la un fel de limită. Ar fi nevoie de o nouă descoperire tehnică, de genul RPL, pentru a putea merge mai departe.”

● Norocul familiei Leaky

Perspectiva folosirii tehnicii ADN pe fosilele foarte vechi ale creaturilor umanoide nu era prea luminoasă, fapt cu atât mai regretabil cu cât vânătorii de fosile se aflau în încurcătură.

În secolul al 20-lea, centrul căutării strămoșilor noștri (umani și preumani) s-a mutat din Europa. S-a deplasat în Africa de Sud, o dată cu descoperirea lui Raymond Dart, în 1925, a primei fosile de om-maimuță – *Australopithecus*. Apoi Asia a intrat în prim-plan – unde a fost descoperit *Homo erectus* (omul de Java și omul de Peking (Beijing)) – iscusit în a fabrica topoare de piatră, dar în mod clar mult mai puțin inteligent decât noi.

Pe perioada celei de-a doua jumătăți a secolului, centrul s-a stabilit în Africa de Est, în principal în Marele Rift African. Aici, un colț al continentului a încercat să se desprindă fără a reuși, ca și cum ar fi vrut să formeze un alt Madagascar, mai impresionant. Împreună cu ramificațiile sale, Riftul se întinde pe o distanță de aproape 3 000 de kilometri din Etiopia până la râul Zambezi, având o lățime constantă de aproximativ 50 de kilometri. Povârnișuri înalte stau față în față de-a curmezișul unui podiș împodobit cu lacuri și vulcani. Sectorul Kenya-Tanzania al Marelui Rift este renumit pentru mamiferele mari ce trăiesc aici.

Se spune că aici strămoșii noștri de tipul maimuțelor au învățat pentru prima dată să meargă în poziție verticală. O ipoteză dominantă timp de mai mulți ani a fost aceea că maimuțele fără coadă au coborât din copaci, însă nu voluntar, ci pentru că acești copaci le-au abandonat. Africa de Est a devenit tot mai sece-toasă ca urmare a răcirii globale care s-a accentuat acum 5 milioane de ani, când planeta se apropia de începutul seriei actuale de ere glaciare. Și, ce să vezi? Printre animalele ale căror urme de pași s-au păstrat în urmă cu 3,7 milioane de ani, în cenușa vulcanică de la Laetoli, Tanzania, se aflau nu doar elefanți și girafe, ci și oameni-maimuță sau australopiteci, care mergeau un pic stângaci pe două picioare.

O căutătoare de fosile kenyană, Mary Leakey – a identificat urmele de pași în 1978. Ea era soția lui Louis Leakey, un faimos descoperitor de fosile preumane, și găsisese ea însăși o nouă specie de australopitec în Pasul Olduvai, Tanzania, în 1959. În același sit, în anul următor, fiul ei de 19 ani – Jonathan – a descoperit fosile ale celei mai vechi creaturi cunoscute, general acceptată ca fiind umană, *Homo Habilis*, în vârstă de 2 milioane de ani.

Familia Leakey a făcut o mulțime de alte descoperiri, iar prietenii și rivalii vorbeau despre „norocul familiei Leakey”. Acesta s-a transferat și tinerei asistente a lui Louis Leakey, Jane Goodall. În 1960 ea a părăsit Anglia, având doar o diplomă de stenografă, și s-a aventurat în Parcul Național Gombe din Tanzania, ajungând cel mai cunoscut expert din lume în comportamentul cimpanzeilor observat în sălbăticie. Privind retrospectiv, am putea spune că Goodall a anticipat unde va trebui să se întoarcă în cele din urmă căutarea originii umane.

Un alt fiu, Richard Leakey, a descoperit un nou teritoriu pentru vânătoarea de fosile. Lângă lacul Turkana din nordul Kenyei, echipa sa a găsit aproape toate fragmentele unui craniu de *Homo habilis*. Soția lui Richard, Maeve, și Alan Walker au reconstituit craniul la baza lor de la Muzeul Național al Kenyei. Cu un craniu deosebit de rotund ce putea adăposti un creier pe jumătate cât al nostru, creatura căreia îi aparținea avea toate șansele să ne fie rudă îndepărtată. Următoarea misiune, cum considera Richard pe atunci, era găsirea unui strămoș comun pentru *Homo* și australopitecul divergent, care să aibă o vechime cuprinsă între 4 și 5 milioane de ani.

„Ne apropiem destul de mult de acea clipă extraordinară”, declara Richard în 1973, „în care investiția animală în creier, brațe și sociabilitate a început să dea naștere unei condiții calitativ superioare – apariția omului. Aceasta a fost într-atât de puternică și de eficace încât a schimbat chiar regulile jocului vieții”.

● Pe verticală, mult mai devreme

Vânătoarea de fosile era un domeniu care necesita răbdare, pasiune și perseverență, și în care orice descoperire importantă era primită cu mult respect. Căutătorii și-au dorit întotdeauna să poată încadra osemintele găsite într-un arbore evolutiv care să le consacre drept veritabili strămoși ai omului. De exemplu, s-a afirmat despre fosila unei femele australopitec, în vârstă de 3 milioane de ani, din Etiopia, că ar fi fost foarte potrivită pentru a evolua ulterior în *Homo*. A fost numită Lucy. Cântecele formației Beatles „*Lucy in The Sky with Diamonds*” era în vogă în momentul descoperirii ei de către Donald Johanson de la Muzeul de Istorie Naturală din Cleveland, în anul 1974. Numele oficial al lui Lucy era *Australopithecus Afarensis*.

La începutul anilor 1980, informațiile existente erau sintetizate în modul următor. Cu aproximativ 4 milioane de ani în urmă, primii australopiteci au evoluat din maimuțe, și după ce au trăit mult și bine răspândindu-se pe teritorii vaste din Africa, ultima dintre diferitele specii de australopitec a dispărut acum 1,4 milioane de ani. Dintr-un australopitec asemănător cu Lucy a apărut prima specie umană *Homo habilis*, acum 2,5 milioane de ani, fiind urmată de *Homo erectus*, apărută acum 2 milioane de ani. Deși această specie s-a răspândit apoi cu succes în toată Eurasia, și exponenții săi erau prădători pricepuți, ei au continuat totuși să facă aceleași topoare de piatră timp de peste un milion de ani – ceea ce denotă o oarecare lipsă de imaginație.

Acum 600 000 de ani au început să lase urme diverse versiuni timpurii ale unei noi specii, *Homo sapiens*, care s-a extins în Eurasia, iar încă de acum 100 000 de ani subspecia Neanderthalienilor era bine stabilită. Propria noastră subspecie, autointitulată fără pic de modestie *Homo sapiens sapiens*, era deja o entitate genetică în Africa și avea tendința să se răspândească pe întreaga planetă. Conform acestei scheme, suntem cu toții africani de două ori consecutiv. Chiar dacă Eva africană recent descoperită, mamă a tuturor oamenilor, nu poate fi în mod clar identificabilă cu ajutorul oaselor, purtăm cu toții în noi binecuvântarea ei – sub forma genelor.

Debutul african timpuriu al strămoșilor noștri, din timpul tranziției de la maimuță la om, rămâne nelămurit. Schema din 1980 descrisă mai înainte era prea simplistă și concisă. Richard Leakey era îndreptățit în dorința sa de a plasa divergența dintre *Australopithecus* și *Homo* și mai devreme în timp.

Noi oseminte care ieșeau la iveală în Africa de Est continuau să modifice tabloul creat. O descoperire provocatoare, Omul mileniului, alias *l'Ancêtre du Millénaire* sau *Orrorin tugenensis*, a fost făcută în anul 2000. O echipă franco-kenyană a găsit resturile fosile, din întâmplare, pe colinele Tugen de lângă lacul Baringo din Kenya.

„Mi-am dat seama că erau dinți umani”, a spus Kiptalam Cheboi de la Muzeul Comunitar Kenyan, care a găsit primele oseminte. „Dacă aș fi sărit în sus de bucurie, aș fi atins cerul”. Dintr-un strat vechi de 6 milioane de ani au ieșit la iveală nu doar dinți asemănători cu cei ai omului, ci și oasele unui om-maimuță de mărimea unui cimpanzeu actual, cu coapsele specifice mersului vertical. „*Grignotés certes, mais pas détruits*”, a exclamat Martin Pickford de la Muzeul Național de Istorie Naturală din Paris, în legătură cu femururile pe care le-a descoperit. Roase de feline mari, dar nu distruse.

Descoperirea a plasat mersul biped și mai devreme în timp, iar pe bipedul găsit nu pe o pajiște întinsă, ci într-o pădure demult dispărută. Fosilele asociate includeau resturile unor arbori și ale unor strămoși ai rinocerului și ai hipopotamului. Bipedul kenyan în vârstă de 6 milioane de ani a fost botezat *Orrorin* – un echivalent al lui Adam în limba tugen, iar în limba franceză – un joc de cuvinte pornind de la cuvântul *aurora*, sau zori de zi.

Peste numai câteva luni, Yohannes Haile-Selassie de la UC Berkeley a anunțat descoperirea unui alt biped, în Etiopia, cu o vechime de 5,5 milioane de ani. Acesta a fost numit *Ardipithecus ramidus kadabba*, kadabba însemnând strămoș primordial în limba afar. Din nou rămășițele au fost găsite împreună cu alte fosile care indicau un ținut împădurit. Ideea că mersul biped reprezenta o adaptare la viața în zonele de pășune părea din ce în ce mai suspectă.

La acea vreme, vânătorii de fosile erau în dilemă. Ei nu mai reușeau să se pună de acord în ceea ce privește interpretarea dinților, craniilor și a abilității de a merge ca semne de descendență, fie ale omului modern, fie ale unor specii care au dispărut. Într-un anumit caz, unii vânători de fosile au preferat să nege validitatea

propriilor metode tehnice mai degrabă decât să admită că teoreticienii sau descoperitorii rivali ar putea să aibă dreptate.

Optimiștii considerau că noile descoperiri conduceau la un strămoș comun al omului și al cimpanzeilor. Cu tot acest mers biped încolo și înapoi, cu atât de mult timp în urmă, probabil că oamenii nu au fost cimpanzei care s-au ridicat pe picioare și au mers drept. În schimb, cimpanzeii s-ar putea să fie foști bipezi care au preferat să meargă încovoiat, să se sprijine pe coate și să-și cultive talentul de gimnaști arboricoli.

● Bomba din Ciad

În iulie 2001, Ahounta Djimdoumalbaye, student la Universitatea din N'Djamena, Ciad, a pornit să înfrunte arșița teribilă și nisipul din deșertul Djourab pentru a căuta fosile. Această parte sudică a Saharei fusese practic imposibil de explorat înainte, când nu existau sateliți care să-ți spună unde te afli. Nisipul purtat de vânt remodelează în permanență peisajul. Dar, în același timp, sapă în rocile vechi dezgropând fosile dintr-o eră demult apusă, pe când aceste teritorii erau bine irigate și pline de vietuitoare. Participând la o expediție franco-canadiană, vânătorul de fosile Djimdoumalbaye a descoperit un om-maimuță în vârstă de 6–7 milioane de ani.

Fosila a fost găsită în Africa Centrală, la 2 500 de kilometri depărtare de Marele Rift, iar descoperirea ei n-a fost o întâmplare, ci încununarea eforturilor, ce au durat 25 de ani, ale lui Michel Brunet de la Poitiers și ale lui David Pilbeam de la Harvard, de a extinde căutarea originilor umane dincolo de straturile fosile la modă din Africa de Est. După cum își amintește Brunet, „*Cuvântul nostru de ordine a fost atunci: Spre vest!*”

S-au gândit la Ciad, însă războiul de acolo i-a îndreptat la început într-o căutare fără roade, în Camerun. În cele din urmă, în 1994, Brunet a organizat Misiunea paleoantropologică franco-ciadiană, cu sprijin logistic asigurat de armata franceză. Studenții din Ciad au fost trimiși la Poitiers pentru pregătire specială. Expedițiile anuale în deșert au adus la lumină un număr mare de fosile animale în straturile de gresie erodate, corespondente unui amestec de pășuni, terenuri împădurite, râuri și lacuri.

În 1995, Brunet a anunțat descoperirea lui Abel, *Australopithecus bahrelghazali*. În vârstă de peste 3 milioane de ani, era de departe cea mai veche creatură asemănătoare omului descoperită în regiune și aproximativ contemporană cu Lucy din Etiopia. În capitală au apărut postere cu textul „*Ciadul, leagăn al umanității?*”. Semnul întrebării era un gest nobil, ținând cont de sensibilitățile specialiștilor, care erau în continuare convinși că Marele Rift African era leagănul umanității.

Fosila găsită însă în 2001 era de două ori mai în vârstă decât Abel și decât Lucy. Numele său oficial era *Sahelanthropus tchadensis*, iar porecla pentru cel mai bun

specimen – Toumaï, înseamnă „speranța vieții” în limba goran, care este vorbită în Deșertul Djourab. Cu mult înainte ca președintele Ciadului, Idriss Deby, să arate craniul lui Toumaï ambasadurilor din celelalte țări, în iulie 2002, vestea a circulat în taină printre căutătorii de fosile din întreaga lume. I-a zguduit precum o bombă – o mică armă nucleară, cum a numit-o unul dintre ei.

Aceste creaturi erau hominizi, un termen ce cuprinde atât omul-maimuță, cât și omul. Nu numai că apăruseră foarte timpuriu și trăiau în locul nepotrivit, dar aveau, în plus, trăsături asemănătoare cu cele ale oamenilor-maimuță mult mai recent. Brunet a emis pretenția obișnuită că Toumaï este un posibil strămoș al nostru. El a afirmat că poate fi considerat „apropiat de ultimul strămoș comun al cimpanzeului și al omului, dar și strămoșul hominizilor mai recent”.

Această chestiune de descendență a fost, cu toate acestea, intens dezbătută. Descoperirea fosilelor de 6 milioane de ani, la începutul secolului al 21-lea, în Kenya, Eritreea și, în special, în Ciad, au spulberat ideile secolului al 20-lea despre evoluția omului. Acele idei fuseseră corelate pe rând cu alte idei greșite despre evoluție în general, bazate pe o interpretare prea superficială a teoriei lui Darwin.

„De la spate seamănă cu un cimpanzeu, în timp ce din față ar putea trece drept un australopitec avansat, în vârstă de 1,75 de milioane ani”, a spus despre Toumaï, Bernard Wood de la Universitatea G. Washington. El a subliniat că, în conformitate cu ideile clasice, „un hominid de această vârstă ar trebui doar să înceapă să aibă anumite caracteristici de hominid”.

Gradualitatea a fost laitmotivul teoriei evoluționiste a secolului al 20-lea. Pas cu pas, mutație genetică după alta, o specie ar putea dobândi noi caracteristici și aptitudini, devenind în cele din urmă o nouă specie superioară – din ce în ce mai asemănătoare nouă. Fosilele preumane spun o cu totul altă poveste, a multiplelor apariții de noi hominizi, cu un minim respect al ordinii cronologice sau al vreunei succesiuni ordonate.

Acest fapt nu era deloc surprinzător pentru cei care au urmărit studiile despre evoluție sau experimentele de laborator de la sfârșitul anilor 1990. Au fost studiate creaturi din cele mai diferite – muște, drojdii, plante – și s-a demonstrat că schimbările pot să apară mai repede, să fie mai drastice și să aibă o capacitate mai mare de explorare a trăsăturilor decât preconizau ideile evoluționiste tradiționale. Evoluția apare în special ca un rezultat al modificării controlului genelor preexistente. Când acest control slăbește, pot apărea simultan mai multe forme noi.

Astfel, aveam toate motivele să ne așteptăm ca dovezile unei experimentări masive să-și facă apariția în dovezile fosile. Așa cum a observat chiar Wood, se cunoștea un astfel de caz, cel al originii animalelor, ce avusese loc cu aproximativ 500 de milioane de ani în urmă, în așa-numita explozie cambriană. Fără îndoială, experimentări aleatorii similare, nedetectate încă de vânătorii de fosile, au avut loc și în procesul evoluției cânilor sau felinei. Acestea au ieșit la lumină în cazul oamenilor-maimuță și al oamenilor datorită eforturilor

extraordinaire consacrate căutării strămoșilor noștri și evaluării meticuloase a fiecărui dinte sau os găsit.

Toți hominizii mai vechi decât subspecia noastră, pornind de la neanderthalieni și până la Toumaï, trebuie acum să fie considerați niște experimente naturale ce nu au lăsat supraviețuitori dovediți în zilele noastre. Deși edificator, acest succes este dezamăgitor pentru cei care tânjesc să atingă cu propriile lor mâini oasele primelor străbunici. Până la realizarea testelor ADN pentru stabilirea maternității, e foarte posibil ca, exact ca în cazul neanderthalienilor, majoritatea sau chiar toate speciile fosile cunoscute să ne fie doar stră-mătuși.

● Salvați de genetică?

Nu e întotdeauna ușor să ghicești direcția în care se va face următorul mare pas într-o ramură a științei, dar în ceea ce privește studiul originii omului, la începutul secolului al 21-lea, direcția era evidentă. Fosilele creaseră o mare confuzie. ADN-ul obținut de la fosile atinsese un punct mort. Alegerea inteligentă era compararea genelor omului cu cele ale maimuței mult mai amănunțit decât până atunci.

În 1975, Marie-Claire King și Allan Wilson de la UC Berkeley au anunțat că aproximativ 99% din ADN este identic la om și la cimpanzeu. Procentul rămas face diferența și include, la nivel genetic, întreaga istorie de milioane de ani, pornind de la strămoșul comun al cimpanzeului și al omului, continuând cu hominizii din Africa și de pretutindeni, și până la subspecia noastră *Homo sapiens sapiens*. Singura diferență clară este că genele umane formează 23 de perechi de cromozomi, iar cele ale cimpanzeului formează 24 de perechi, însă acest lucru pare nesemnificativ, în afara faptului că acționează ca o barieră de împerechere.

Din comparațiile făcute între genele materne ale urangutanilor, cimpanzeilor și oamenilor, specialiștii de la Institutul Național de Genetică al Japoniei au stabilit că mama comună a omului și a cimpanzeului a apărut acum 4,7 milioane de ani. Alții erau de părere că ar fi apărut chiar și mai devreme, ceea ce s-ar dovedi necesar dacă se va confirma că hominizii recent descoperiți în Africa sunt în mod clar mai tineri decât strămoșul comun al omului și al cimpanzeului.

Între timp, în 2001, transcrierile întregului cod genetic uman au devenit accesibile, ca rezultat al proiectelor genomului uman. Experții care se întrebau unde se ascund diferențele cruciale nu au neglijat volumul uriaș de ADN care nu era direct implicat în gene specifice. Acesta include elemente numite secvențe Alu, aflate în vecinătatea genelor și care apar doar la primătele superioare. Oamenii au peste un milion de astfel de secvențe, iar Karl Schmid de la UC Davis a sugerat că rolul lor este de a ne ajuta să învingem stresul. Wanda Reynolds de la Centrul Oncologic Sidney Kimmel din San Diego a observat că secvențele Alu ar putea determina creșterea sau descreșterea activității genelor responsabile de reacția celulelor la hormoni ce aduc mesaje din alte părți ale organismului.

„Prezența atât de multor secvențe Alu în întreg genomul permite evoluției să se întrebe: ce s-ar întâmpla dacă aș crește de 3 ori expresia genei X în timpul dezvoltării – oare aș obține o primată mai bună?”, spunea Reynolds. „Și ce s-ar întâmpla dacă aș modifica puțin expresia a o mie de gene – oare aș obține o ființă umană?”

După descifrarea genomului uman, marile laboratoare specializate în citirea genelor aveau alte priorități decât să se ocupe de genomul maimuței. Acest lucru le-a oferit marea șansă oamenilor de știință care s-au simțit excluși din proiectul genomului uman să ia parte la studiul genomului de maimuță – căruia genomul uman i-ar oferi un excelent model. Park Hong-Seog de la Institutul Coreean de Cercetare în Bioștiință și Biotehnologie din Taejon a descris starea lor de spirit: „Participarea la secvențierea genomului maimuței ar fi un mod plăcut în care ne-am putea aduce și noi contribuția”.

Yoshiyuki Sakaki, din Grupul Japonez de Cercetare a Genomului Uman din Yokohama i-a invitat pe geneticienii din Coreea, China și Taiwan să ia parte la un asemenea efort împreună cu grupul lui Svante Pääbo din Germania. Pe atunci, vânătorul suedez de ADN lucra la Institutul de Antropologie Evolutivă din Leipzig, un oraș cu o frumoasă colecție de primat în grădina lui zoologică. Pääbo bănuia că diferențele cruciale ar fi ascunse în genele ce reglează acțiunea altor gene, influențând cursul și sincronizarea dezvoltării embrionului și probabil și a adultului.

Existența unei gene, chiar una comună pentru cimpanzeu și om, poate fi așadar mai puțin semnificativă decât diferențele în activitatea genelor. Pääbo și un grup de colaboratori germani, olandezi și americani au comparat țesuturi de la om cu cele de la cimpanzeu și macac. Ei au descoperit că activitatea genelor era la fel la om și la cimpanzeu la nivelul ficatului și al leucocitelor, confirmând evoluția lor asemănătoare. Însă era foarte diferită în țesutul cerebral al omului și al cimpanzeului, reflectând probabil capacități mentale diferite. Modificarea expresiei genelor era mult mai intensă în țesutul cerebral uman în timp ce la cimpanzeu ritmul era asemănător cu cel al macacului.

„Micile diferențe dintre genomul nostru și cel al primatelor mari vor fi extrem de interesante deoarece printre ele se află premisele genetice care ne fac să fim diferiți de toate celelalte animale”, a comentat Pääbo. „Acceptarea faptului că unul sau câteva accidente genetice au făcut posibilă apariția omului este o provocare de ordin filozofic”.

- Pentru abordarea subiectului din perspectiva cimpanzeilor, vezi **COMPORTAMENTUL PRIMATELOR**. Pentru mai multe despre evoluția umană în ultimii 150 000 de ani, vezi **GENELE PREISTORICE ȘI LIMBAJELE**. Pentru modificarea completă a ideilor evoluționiste, vezi **EVOLUȚIA, MONȘTRII OPTIMIȘTI ȘI EXPLOZIA CAMBRIANĂ**.

ORIGINEA VIEȚII



Răspunsul la ghicitoare va veni din spațiu?

DESCENDENȚA MEA COBOARĂ până la o globulă atomică protoplasmatică primordială”, spunea plin de emfază personajul Pooh-Bah din *Mikado*. Când Gilbert și Sullivan au scris opera lor comică, în 1885, erau *au courant* atât cu știința, cât și cu snobismul epocii. Un secol mai târziu, biologii moleculari aveau să depisteze mutațiile genetice și să construiască un arbore genealogic unic care includea toate organismele planetei și se întindea înapoi în timp pe o perioadă de 4 miliarde de ani, până în momentul probabil al apariției vieții pe Pământ. Însă nu erau atât de bine informați ca Pooh-Bah cu privire la natura exactă a protoplasmei primordiale.

În 1995, Włodzimierz Ługowski de la Institutul Polonez de Filozofie și Sociologie scria despre „fundamentele filozofice ale protobiologiei”. El a enumerat aproximativ 150 de scenarii existente la acea vreme ale originii vieții și, cu o singură posibilă excepție ce va fi menționată ulterior, le-a considerat pe toate celelalte nesatisfăcătoare. Iată una dintre enigmaticele majore ale științei secolului al 21-lea. Originea vieții, ce se află pe picior de egalitate cu întrebarea „ce anume a inițiat Big Bangul?”, este o lacună incomodă în demersul oamenilor de știință de a explica existența noastră în cosmos.

În ultimul paragraf al descrierii evoluției, în lucrarea *Originea Speciilor* (1859), Charles Darwin remarcă: „Această viziune asupra vieții este grandioasă, cu multiplele sale puteri, ce au fost inițial insuflate de Creator în câteva forme sau într-una singură.” Personal, Darwin credea că suflul divin avea un iz chimic. El presupunea că viața a început „într-un lac cald, în care se aflau toate felurile de amoniac și de săruri fosforice, lumină, căldură, electricitate etc”.

Prin chimia carbonului plus energie, ar spune cercetătorii din zilele noastre. Fiindcă Darwin a împărtășit gândurile sale unui prieten într-o scrisoare, în 1871, mai mulți oameni de știință remarcabili s-au dedicat studiului acestei probleme spre sfârșitul vieții lor. Doi dintre aceștia (Svante Arrhenius și Francis Crick) au translatat problema într-un lac cald de foarte departe, imaginându-și spori venind din spațiul cosmic. Alt savant (Fred Hoyle) a sugerat drept loc al creației strămoșilor noștri primordiali miezul lichid al nucleelor înghețate ale cometelor, în care erau adăpostiți pe parcursul călătoriei acestora.

Majoritatea cercetătorilor originii vieții au preferat varianta bucătăriei proprii. Razele Soarelui, fulgerele, căldura vulcanică și altele asemenea au acționat probabil asupra gazelor din atmosfera Pământului tânăr, formând substanțe chimice complexe. În anii 1950, Harold Urey de la Chicago l-a îndemnat pe studentul său, Stanley Miller, să realizeze un experiment în care să obțină precipitate bogate în compuși ai carbonului, prin trecerea unor descărcări electrice prin gaze presupuse a semăna cu atmosfera primordială a Pământului. Se spunea că aceste substanțe au creat supa primordială în apa planetei, iar reacțiile chimice aleatorii produse de-a lungul a milioane de ani au generat în cele din urmă combinațiile magice necesare vieții.

Deși mult aclamate în acea vreme, privind retrospectiv, experimentele Urey-Miller par a fi condus într-un punct mort. A apărut întrebarea dacă ingredientele gazoase folosite reprezentau într-adevăr atmosfera primordială a Pământului. În orice caz, problema nu era atât fezabilitatea uneia sau alteia dintre reacțiile chimice cât modul în care chimia aleatorie ar fi putut combina seria corectă de ingrediente.

Două ingrediente cruciale au fost cu ușurință determinate. În primul rând, acizii nucleici – purtătorii instrucțiunilor genetice moștenite. Nu neapărat acidul dezoxiribonucleic (ADN) cel dublu răsucit, atât de la modă astăzi, ce cuprinde genele organismelor moderne. Era suficient să fi existat mult mai primitivul acid ribonucleic (ARN). În al doilea rând, erau necesare proteine cu rol de enzime – catalizatoare ale reacțiilor chimice.

În preajma anului 1970, Manfred Eigen, de la Institutul German de Chimie Biofizică Max Planck, a încercat să stabilească premisele minime pentru apariția vieții. El a afirmat că strămoșul întregii vieți de pe Pământ era hiperciclul, după cum l-a numit, format din mai multe cicluri de ARN legate prin enzime proteice cooperative. Ipoteza era acompaniată de un joc, cu un zar piramidal și bile, ce reprezenta cele patru subunități chimice ale ARN-ului. Scopul era optimizarea mutațiilor aleatorii pentru a obține molecule de ARN cu o mulțime de bucle realizate de articulații cardanice, considerate a fi favorabile stabilității în supa primordială.

● Catalizatori dezvoltuiți

Trebuia ca lacul cald al lui Darwin să fie mai degrabă fierbinte, pentru a fi atinse concentrațiile ridicate de molecule și energia necesare rețetei vieții. Dar temperaturile ridicate sunt dăunătoare pentru majoritatea organismelor vii. Prin urmare, cercetătorii originii vieții au devenit interesați de organisme rezistente la căldură care se găsesc astăzi din belșug în apele vulcanice fie de la suprafață, fie de pe fundul oceanelor, provenind din supapele hidrotermale. Poate mai degrabă căldura vulcanică și nu cea solară să fi facilitat apariția vieții, au spus unii cercetători.

Chiar și așa, creativitatea chimiei aleatorii a ridicat, timp de mai multe decenii, o problemă fără ieșire de tipul – ce a fost mai întâi: oul sau găina? Marele hop,

se pare, era că nu puteai reproduce ARN-ul fără enzimele adecvate, și nici nu puteai specifica enzimele în absența ARN-ului potrivit. O posibilă breșă a fost făcută în 1982.

Thomas Cech de la Boulder, Colorado, a fost uimit să descopere că moleculele de ARN puteau acționa ca și catalizatori, asemenea enzimelor proteice. Într-o eprubetă, o moleculă de ARN s-a desfăcut în bucăți, fragmentele reunindu-se apoi la loc într-o reacție complicată de auto-splicing. Nu fusese prezentă nicio proteină. Problema de tipul „oul sau găina” părea să fie rezolvată dintr-o dată.

Curând după aceea alți cercetători au început să vorbească despre o Lume ARN timpurie formată din organisme primitive, condusă de acizi nucleici, ce aveau rol atât de enzimă, cât și de codificator genetic. Multe alte funcții ale enzimelor ARN, sau ribozimele, au ieșit la lumină în urma cercetărilor ulterioare. Foarte elocvent era rolul lor în ribozomi. Aceștia sunt roboții chimici folosiți de toate creaturile vii, de la bacterii la balene, pentru a transpune codul genetic în molecule proteice precis stabilite. Un ribozom este un ansamblu complex de molecule proteice, dar în interiorul său se află molecule ARN care îndeplinesc rolul fundamental de catalizatori.

„Ribozomul este o ribozimă!”, declara triumfător Cech într-un raport al rezultatelor ultimelor cercetări, în anul 2000. „Dacă într-adevăr a existat o Lume ARN timpurie, în care ARN-ul asigură atât informația genetică, cât și funcția catalitică, atunci prima sinteză a unei proteine trebuie să fi fost catalizată de ARN. Posibil ca ulterior, ribozima – ribozomul format numai din ARN – să se fi împodobit cu proteine suplimentare; totuși inima sa din ARN a funcționat destul de bine, astfel încât nu a fost niciodată înlocuită de un catalizator proteic.”

Principala rivală a Lumii ARN era la acea vreme Lumea lipidelor, unde lipide însemna materia uleioasă sau grasă care nu se amesteca cu apa. În zilele noastre, dar și în vremea apariției vieții, această materie era foarte potrivită pentru a forma membrana internă și învelișul exterior al celulelor vii. Ambalajul ar fi putut să preceadă conținutul, conform unei idei care se poate regăsi încă din 1920 la Aleksandr Oparin de la Moscova.

El și-a imaginat, și a și realizat în experimente ulterioare, membrane lipidice microscopice ce înconjurau apa bogată în diferite substanțe chimice, care puteau să nu aibă o funcție precisă la început. Aceste coacervate, ca să folosim denumirea tehnică, ar putea fi precursorii celulelor. Așa cum a subliniat Oparin, ele asigurau un mediu protector, în care se puteau grupa orice combinații folositoare, autoreproductive, care apăreau în urma reacțiilor chimice aleatorii. Aceste combinații nu s-ar fi dispersat pur și simplu în supa primordială.

La sfârșitul secolului al 20-lea, progresul științei moleculare și al biologiei celulare a condus către două descoperiri interesante. Prima a fost că unele lipide posedă propriul lor potențial ereditar. Ele se pot copia pe ele însele printr-o autoasamblare din componentele moleculare disponibile, independent de orice

sistem genetic. La fel de remarcabilă a fost și descoperirea că asemenea enzimelor proteice și ribozimelor ARN, unele lipide ar putea, de asemenea, acționa pe post de catalizatori ai reacțiilor chimice. Doron Lancet de la Institutul de Știință Weizmann din Israel le-a numit lipozime.

Lancet a devenit susținătorul principal al Lumii lipidelor ca premergătoare originii vieții. Modelele sale computerizate arătau că diferitele grupări de molecule lipidice își puteau autoasambla și autoreplica compozițiile lor, pe măsură ce alcătuiau membrane pe care se puteau forma alte substanțe, inclusiv proteine și acizi nucleici. „Începând de la această etapă”, au afirmat Lancet și colegii săi, „ar putea fi inițiat un scenariu de tipul Lumii ARN, deși acesta nu implică nicidecum că ar fi fost exclusiv prezentă chimia ARN”.

● Care era decorul?

Una dintre problemele oricărei ipoteze referitoare la apariția vieții pe Pământ este verificarea ei. Oricât de convingătoare ar fi, la nivel de teorie sau chiar prin prisma experimentelor de laborator care ar putea crea viață din nimic, nu există o modalitate clară de a stabili că un scenariu mai degrabă decât altul a fost cel care a avut cu adevărat loc. De asemenea, lipsește o cunoaștere clară a planetei în acea perioadă. Cu siguranță nu era un loc liniștit.

Craterele imense încă vizibile pe Lună sunt, în primul rând, dovada unui bombardament greu cu materii hoinare – comete de gheață și asteroizi de piatră – rămase de la formarea Sistemului Solar. Acesta a lovit atât tânărul Pământ, cât și Luna și a continuat timp de 600 de milioane de ani de la formarea corpului principal al planetei noastre, în urmă cu 4,5 miliarde de ani. În această perioadă, numită de specialiști Hadean, nicio regiune nu a scăpat neatinsă de ploile continue de mii de asteroizi și comete. Drept urmare, rocile cele mai timpurii care supraviețuiesc pe suprafața Pământului au o vârstă de 4 miliarde de ani. Cu toate acestea, cumva, viața a început în timpul acestor vremuri tulburi.

Pe atunci apa s-ar fi găsit din plin, adusă probabil de obiectele de impact înghețate. Dovezi indirecte ale existenței oceanelor primordiale provin de la zirconii, cristale dure de silicat de zirconiu asociate în mod normal cu granitul continental. În 1983, Derek Froude de la Universitatea Națională Australiană și colegii săi au găsit zircon cu o vechime de peste 4,1 miliarde de ani, inclus sub formă de grăunțe în rocile sedimentare străvechi din Australia de Vest.

În 2001, o echipă americano-britanico-australiană a identificat un fragment de zircon ca având o vechime de 4,4 miliarde de ani. În acea perioadă, după cum s-ar părea, scoarța Pământului tocmai se răcise îndeajuns pentru a ține apa deasupra, care apoi a interacționat cu scoarța primitivă formând granitul cu grăunțele de zircon închise în el. O concentrație mare de atomi de oxigen greu în zircon dovedește prezența apei.

„Probele noastre de zircon sugerează că s-ar putea ca viața să fi avut mai multe începuturi ratate”, a spus Simon Wilde de la Universitatea de Tehnologie Curtin

din Perth, mândrul posesor al celui mai vechi fragment de pe Pământ. „Ne putem imagina oceanele și viața începând pe un Pământ în curs de răcire, și apoi amândouă evaporându-se la următorul mare impact. Dacă așa stau lucrurile, strămoșii noștri au fost norocoșii care au apărut exact atunci când bombardamentul greu se apropia de sfârșit și care au reușit cumva să supraviețuiască.”

Compoziția atmosferei Pământului tânăr și reacțiile chimice de acolo care ar fi putut adăuga compuși carbonici în supa primordială au rămas, de asemenea, extrem de neclare. În legătură cu acest subiect, specialiștii au descoperit că Titan, o lună a lui Saturn, ar putea oferi indicii în legătură cu originea vieții. Acesta are o atmosferă densă, cețoasă, cu azotul drept ingredient principal, la fel ca aerul planetei noastre.

Cu toate că satelitul Titan este mult prea rece pentru a exista viață, având o temperatură de minus 180°C, el are mulți compuși carbonici care dau naștere unui smog fotochimic în atmosferă, acoperind fără îndoială și suprafața. Așadar Titan ar putea păstra în ghețarii săi multe dintre substanțele chimice premergătoare apariției vieții, ce au existat pe tânărul Pământ. În 1997, sonda spațială Cassini aparținând NASA a fost lansată spre Saturn, având la bord modulul de explorare european Huygens, ce urma să fie lansat în atmosfera lui Titan.

În 2005, pe parcursul a câtorva ore extrem de interesante, sonda va traversa atmosfera îndreptându-se către suprafața lui Titan. În timpul coborârii, și pentru scurt timp după ce va ajunge la suprafață, sonda va transmite informații noi despre înfățișarea, vremea și structura chimică a lui Titan. Nava mamă Cassini va examina, de asemenea, compoziția chimică din exterior, în timpul trecherilor sale repetate.

„Unul dintre motivele pentru care toate încercările de reprezentare a originii vieții rămân, din nefericire, neconcludente este faptul că cercetătorii pot doar să presupună care era structura chimică a Pământului acum 4 miliarde de ani, când a avut loc evenimentul”, a spus François Raulin de la Laboratorul Interuniversitar al Sistemelor Atmosferice din Paris, unul dintre cercetătorii misiunii Cassini-Huygens. „Rezultatele analizelor noastre asupra planetei Titan ne-ar putea conduce în direcții neașteptate și ar putea stimula apariția unor noi perspective”.

În timp ce proiectul Titan ar putea fi considerat o continuare a căutării scenariului bucătăriei proprii pe un alt corp ceresc, alți astrochimiști au îmbrățișat ideea că multe substanțe implicate direct în apariția vieții soseau, gata făcute, din spațiu. Acestea ar fi ajuns pe Pământ în timpul bombardamentului greu, pe vremea când cerul era împânzit de comete. Chiar și de la cele care nu au ciocnit absolut deloc Pământul, cantități uriașe de compuși carbonici s-ar fi îndreptat ușor spre suprafața primordială, sub forma unor particule mici, împrăștiate de cozile cometelor.

● Suntem oare copii cometelor?

Nimeni nu știe dacă a fost o glumă sau un efort premeditat pentru a induce în eroare. Cineva a luat un fragment dintr-un meteorit care a căzut din cer la Orgueil, lângă Toulouse, în 1864, și a înfipt în el bucăți de cărbune și de trestie.

Farsa a reușit. A rămas neobservată o sută de ani, deoarece erau o mulțime de alte fragmente din acel meteorit de examinat. În 1964, Edward Anders și colegii săi de la Chicago au dat în vileag păcăleala în urma unei examinări legale prin care a fost identificat până și cleiul franțuzesc din secolul al 19-lea cu care fuseseră lipite bucățile.

De fapt, meteoritul de la Orgueil avea o poveste mult mai interesantă. Un fragment de 55 de kilograme, aflat la Muzeul Național de Istorie Naturală din Franța a devenit cel mai valoros meteorit din colecție. El conține gudron extraterestru autentic, care încă este examinat în secolul al 21-lea cu tehnici analitice din ce în ce mai precise, pentru a se identifica diferitele tipuri de compuși carbonici provenind din spațiu și care au supraviețuit exploziei și căldurii degajate în urma impactului cu meteoritul.

Progresul rapid în domeniul astrochimiei din ultimele decenii ale secolului al 20-lea a dus la identificarea unor cantități uriașe de compuși carbonici de diferite tipuri, în spațiul cosmic și în Sistemul Solar. Acestea au fost detectate în vecinătatea stelelor, în norii interstelari și în comete și includeau mulți compuși cu inele de atomi de carbon, de tipul celor preferați de structurile vii.

O mare parte din asamblarea preliminară a atomilor în molecule utile vieții s-ar putea să fi avut loc în spațiu. Cometele oferă un mod natural de a le aduce pe Pământ. Meteoritul de la Orgueil ne confirmă faptul că acești fini compuși carbonici pot ajunge la suprafața planetei fără a se deteriora complet pe drum. În 2001, după o reexaminare olandezo-americană a fragmentului de la Paris, cercetătorii au avansat teoria că acest fragment provenit din cer făcuse parte dintr-o cometă.

„Descoperirea exactă a strămoșilor noștri moleculari a devenit o provocare pentru astronomie, pentru cercetarea spațială și pentru meteoritică”, a remarcat conducătorul aceluia studiu, Pascale Ehrenfreund de la Observatorul din Leiden. „Chimia spațiului cosmic, desfășurată de-a lungul milioane de ani, s-ar putea să fi fost foarte eficientă în prepararea compușilor reactivi de tipul celor necesari vieții. Împreună cu compușii formați pe Pământ, acele molecule extraterestre s-ar putea să fi ajutat la lansarea vieții”.

Cometele figurează acum într-o multitudine de teorii despre originea vieții, astfel încât o trecere în revistă poate fi oportună. Viziunea curentă la sfârșitul secolului al 20-lea era că atunci când cometele și cozile de comete aduceau uriașe cantități de praf, bogate în carbon, în supa primordială a Pământului, formele lor chimice precise nu erau importante. În interpretarea lui Ehrenfreund importante erau moleculele, și este posibil să fi influențat evoluția chimiei ulterioare de pe Pământ.

Scenarii destul de diferite includeau ideea conform căreia cometele ar fi vehiculele cu care sporiile bacteriilor călătoresc dintr-un sistem stelar în altul, sau sar de la o planetă la alta. Sau, după cum a sugerat Hoyle, cometele însele ar fi scena unei activități biochimice ce creează viața la bordul acestora. În sfârșit, conform unei ipoteze germane, particule de praf cometar ar fi putut da naștere în mod direct celulelor vii pe Pământ.

În 1986, Jochen Kissel a analizat praful cometei Halley, cu ajutorul a trei instrumente de la bordul sondelor spațiale care ajunseseră cel mai aproape de ea, Vega-1, Vega-2 și Giotto. El a descoperit granule ce conțineau o combinație uluitoare de compuși carbonici care ar fi extrem de reactivi pe Pământ. După ce au analizat rezultatele, Kissel și colegul său, Franz Krueger, un chimist independent din Darmstadt, au propus imediat ideea că viața a început în urma căderii granulelor de praf cometar în apa mării.

În următorii 15 ani de lucru cu această ipoteză nu au găsit niciun motiv care să-i determine să se răzgândească. Scenariul lor a fost singurul dintre cele 150 care a primit aprobarea lui Włodzimierz Ługowski în 1995. Pe lângă componentele bogate în compuși carbonici ale particulelor de praf cometar, ce dețin materiile prime și energia chimică latentă necesare procesului chimic, Kissel și Krueger au subliniat rolul jucat de constituenții minerali. Aceștia furnizau suprafețele cu proprietăți catalitice necesare declanșării reacțiilor chimice.

„Ceea ce ne impresionează sunt compușii carbonici din comete care se află în starea chimică ideală pentru a reacționa puternic cu apă”, a spus Kissel, de la Institutul de Fizică Extraterestră Max Planck. „De asemenea, particulele în care acești compuși sunt aduși pe Pământ sunt de dimensiunea potrivită pentru a acționa ca celule temporare ce păstrează elementele chimice împreună în timpul desfășurării reacțiilor chimice cruciale. Așadar, rețeta noastră pentru viață este destul de simplă: se adaugă granule de praf cometar în apă.”

● Cartea de bucate

Pentru a exemplifica modul în care materia aflată în comete ar putea furniza substanțe-cheie biochimice, iată una din rețetele sugerate de Kissel și Krueger. Se realizează o reacție între cinci molecule de cianură de hidrogen, obținându-se o moleculă în formă de inel numită adenină. Se ia poliacetilenă, un lanț de carbon sărac în hidrogen, iar reacția sa cu apa poate forma zaharul numit riboză. Când fosfurile metalice din praful cometar se combină cu apa, vor rezulta fosfații. Adenina și riboza, plus fosfatul, se combină pentru a forma unitatea de bază din lanțul moleculei de ARN. Ca și compus secundar, adenina este prezentă de asemenea și în cadrul unei molecule transportatoare de energie vitală, adenozin trifosfat.

Kissel și Krueger erau de acord cu ideea că viața a început de mai multe ori. Într-adevăr, cu atâtea comete și particule cometare ce veneau spre tânărul Pământ, viața ar fi putut începe de miliarde de ori. Acest lucru a oferit o mulțime de posibilități experimentării biochimice, supraviețuirii în mijlocul impacturilor ulterioare și competiției între diferitele linii de descendență.

Două noi misiuni spațiale vor purta instrumentele lui Kissel pentru a realiza noi investigații ale granulelor de praf cometar primordial. Stardust, lansată în 1999, este o sondă spațială americană cu misiunea de a colecta mostre de praf din jurul Cometei Wild și de a le aduce pe Pământ, unde să fie supuse unor analize com-

plete în laboratoare. Analiza la fața locului, însă pe o perioadă mare de timp, este scopul misiunii europene Rosetta (2003). Analizatorul de praf al lui Kessel este unul dintre numeroasele instrumente de pe Rosetta ce au scopul de a identifica componența unei comete și mai detaliat decât înainte, în timp ce sonda se deplasează lent pe o orbită în jurul cometei-țintă timp de peste un an.

Misiunea Rosetta va atinge punctul culminant atunci când cometa va ajunge în locul situat cel mai aproape de Soare. Acest lucru se va petrece în cea de-a doua decadă a secolului. Atunci, misiunea Cassini-Huygens spre Saturn și Titan va fi demult încheiată și vom avea deja rezultatele analizelor prafului Cometei Wild adus de Stardust. Între timp, noi telescoape cu infraroșu și telescoape radio, de la sol și din spațiu, vor contribui din plin la realizarea inventarierii elementelor chimice din cosmos, disponibile pentru întocmirea rețetelor din cartea de bucate. Atunci va veni poate timpul să judecăm dacă a meritat să ne îndreptăm atenția spre spațiul cosmic, în încercarea de a dezlega misterul vieții, și dacă Pascale Ehrenfreund avea dreptate căutându-și strămoșii moleculari în spațiul interstelar.

- *Vezi, de asemenea, MOLECULE ÎN SPAȚIU, VIAȚA EXTRATERESTRĂ și BACTERIILE EXTREMOFILE. Pentru ribozomi, vezi FORMAREA PROTEINELOR.*



UN IMPORTANT SECTOR al programului de științe spațiale al NASA este numit „Origini” datorită faptului că un etalon al cunoștințelor avansate este măsura în care ele explică existența umană. În detaliu, aceasta impune o cronologie a evenimentelor care să ne indice unde ne aflăm, în spațiu și timp. Evenimentele-cheie apar în următoarele capitole din această carte:

Universul (cca. 13,5 miliarde de ani în urmă) **UNIVERSUL, BIG BANG**

Galaxia Calea Lactee (cca. 12,5 miliarde de ani în urmă) **GALAXIILE**

Pământul (4,55 miliarde de ani în urmă) **PĂMÂNTUL**

Viața (cca. 4 miliarde de ani în urmă) **ORIGINEA VIEȚII, ARBORELE VIEȚII**

Continentele (cca. 3,8 miliarde de ani în urmă) **CONTINENTE ȘI SUPERCONTINENTE**

Oxigenul liber (cca. 2,2 miliarde de ani în urmă) ENZIMELE GLOBALE

Celulele moderne (eucariote) (cca. 2 miliarde de ani în urmă) ARBORELE VIEȚII

Sexul (cca. 1 miliard de ani în urmă) CLONAREA

Animale remarcabile (542 de milioane de ani în urmă) EXPLOZIA CAMBRIANĂ

Mamifere placentare (108 milioane de ani în urmă) MAMIFERELE

Dispariția dinozaurilor (65 de milioane de ani în urmă) EXTINCȚIILE, IMPACTURILE

Pășunile (cca. 30 de milioane de ani în urmă) ENZIMELE GLOBALE

Primatele bipede (cca. 6 milioane de ani în urmă) COMPORTAMENTUL PRIMATELOR, ORIGINEA UMANĂ

Homo sapiens sapiens (cca. 100 000 de ani în urmă) GENE PREISTORICE, VORBIREA

Agricultura (cca. 11 000 de ani în urmă) CEREALELE

Știința modernă (cca. 400 de ani în urmă) DESCOPERIRILE

- Pentru procese mai continue în povestea originilor, vezi STELELE, ELEMENTELE, MINERALELE ÎN SPAȚIU, MOLECULELE ÎN SPAȚIU, COMETELE ȘI ASTEROIZII ȘI EVOLUȚIA.

OSCILAȚII NEUTRINICE

Particulele fantomatice se joacă de-a v-ați ascunselea

- ÎN ȚINUTUL LUI CALAMITY JANE, munții Black Hills din Dakota, bărbații săpau cu înfrigurare în Deadwood Gulch, Bobtail Creek și Gold Run Creek, în timpul goanei după aur din anii 1870. Mai târziu, la Lead, în celebra mină Homestake, s-a continuat exploatarea zăcămintelor de aur din măruntaiele Pământului. În anii 1960, un chimist de la Laboratorul Național Brookhaven din Long Island, Raymond Davis, propunea conducerii minei Homestake un proiect cel puțin fantastic pentru acea vreme. El urmărea să găsească, la mari adâncimi sub pământ, particule subatomice provenite de la Soare.

„Salve, doctore”, l-a salutat un miner care ieșea din tura de noapte. „Ai găsit niscaiva străini micuți pe acolo?” Davis i-a replicat, „Aș fi vrut eu!”. Ne aflăm în anul 1968, iar micuții străini pomeniți de miner erau de fapt fantomaticele particule neutrino din nucleul Soarelui. Neutrinii sunt particule asemănătoare electronilor, dar fără sarcină electrică. Prin urmare, pot trece direct prin Soare și prin Pământ. Și prin voi trec miliarde de neutrini pe secundă. După cum a spus scriitorul John Updike:

*At night, they enter at Nepal
And pierce the lover and his lass
From underneath the bed – you call
It wonderful; I call it crass.¹*

Într-o cavernă din mina Homestake, la 1 560 de metri adâncime, acolo unde rocile Pământului au filtrat radiația cosmică alcătuită din diverse particule, exceptând neutrinii, Davis a instalat un rezervor conținând 500 000 de litri de tetracloroetilenă, un fluid folosit pentru curățarea chimică. Acesta trebuia să-i facă pe neutrini să iasă la iveală în jocul lor de-a alchimistii, prin care transformau atomii de clor în argon.

Minerii aurari au fost primii care au aflat că Soarele nu emitea neutrini. „Nu te teme”, i-au spus ei lui Davis, „știm cu toții că a fost un an foarte noros”. Dar fizicienii din întreaga lume au fost consternați când Davis i-a anunțat că a detectat mult mai puțini neutrini solari decât se aștepta.

Neutrinii respectivi sunt produse derivate ale reacțiilor nucleare în urma cărora este degajată energia solară. Soarele nu ar putea străluci dacă nu ar elibera cantități mari de neutrini, tot așa cum animalele nu pot supraviețui dacă nu expiră dioxid de carbon. Cazul misterioasei dispariții a neutrinilor solari a devenit, prin urmare, o importantă poveste polițistă, și a fost nevoie de 30 de ani pentru a prinde vinovatul.

● „Mai arde Soarele?”

La început, au fost patru suspecți principali. Unul era chiar experimentul lui Davis – fusese acesta corect realizat și interpretat? Toate îndoielile în această privință au fost însă îndepărtate atunci când și alte experimente subterane au obținut rezultate asemănătoare constând într-un număr mic de neutrini solari.

Al doilea suspect a fost fizica nucleară. Să fi calculat greșit fizicienii cursul reacțiilor prin care nucleul fierbinte al Soarelui transformă hidrogenul în heliu și ne dă astfel lumină și viață? Aceasta era totuși cea mai puțin probabilă soluție pentru a rezolva misterul.

Următorul suspect de pe listă a fost chiar steaua-mamă însăși (Soarele). Conducătorul experimentului multinațional cu neutrini din Italia, Till Kirsten de la

¹ Noaptea, ei intră în Nepal / Și străpung amantul și pe-a sa iubită / Venind de sub pat – voi spuneți / Că e ceva minunat; eu zic că e o prostie.

Institutul de Fizică Nucleară Max Planck din Heidelberg, a întrebat în glumă: „Mai arde Soarele?”

Numărul mic de neutrini contorizat s-ar putea datora unei răcirii temporare a nucleului Soarelui, probabil un rezultat al amestecării gazelor de acolo. Deoarece energiei eliberate din nucleu îi sunt necesari sute de mii de ani pentru a ieși la suprafață, nu era nevoie de nicio dovadă de răcire la suprafața solară strălucitoare. Însă heliofizicienii învățaseră cum să exploreze nucleul Soarelui cu ajutorul undelor sonore, prin helioseismologie, și nu observaseră nimic straniu acolo.

Ultimul și cel mai interesant suspect era chiar neutrinel însuși, care părea că se joacă de-a v-ați ascunselea cu cercetătorii. Dar dacă el își schimbă înfățișarea în timpul călătoriei dinspre nucleul Soarelui, devenind un nou tip de neutrino pe care detectoarele nu-l înregistrează? Numele tehnic pentru o asemenea schimbare era de oscilație între aromele neutrinilor.

Oscilație – în sensul în care o aceeași persoană ar fi putut oscila între Dr Jekyll și Mr Hyde, personajul cu două fețe al povestirii lui Robert Louis Stevenson. Când Bruno Pontecorvo și Vladimir Gribov din Uniunea Sovietică au adus prima dată în discuție, în 1969, oscilațiile neutrinice – ca o soluție a misterului solar, acestea au reprezentat doar o ipoteză vagă. O dată cu trecerea deceniilor, ideea a devenit tot mai plauzibilă pentru specialiștii în fizica particulelor.

La început se cunoșteau neutrini de două arome, neutrinii electronici și neutrinii miuonici. Ei erau umbrele fantomatice, neutre din punct de vedere electric, ale electronului obișnuit și ale fratelui său mai greu, miuonul. Antielectronii și anti-neutrinii au luat și ei parte la evenimente, dar îi vom neglija acum pentru a nu ne complica.

Emisiile solare ar trebui să conțină neutrini electronici, dar dacă aceștia s-ar putea transforma în neutrini miuonici pe drumul spre Pământ, aceasta ar putea explica aparentul lor deficit. Descoperirea în 1975 a unui electron supergreu, tauonul, a implicat posibila existență a unui al treilea tip de neutrino. Prin urmare, ne-am putea gândi că neutrino miuonic se transformă în neutrino tauonic și invers.

Dar exista și un inconvenient al acestor oscilații. Un neutrino își putea schimba forma doar dacă avea o masă mică, însă conform teoriei particulelor acceptate, Modelul Standard, neutrinii trebuiau să aibă masa nulă. Experimentele au arătat că dacă masele neutrinilor nu erau nule, ele erau extrem de mici – mult mai mici decât masa unui electron obișnuit.

Cu toate acestea, mulți fizicieni și-ar fi dorit ca neutrinii să aibă masă. În afară de o posibilă soluție pentru problema neutrinilor solari, prin oscilațiile neutrinice, ei erau nerăbdători să descopere un alt punct slab al Modelului Standard. Altfel, le-ar mai rămâne prea puțin de descoperit în privința particulelor ce populează cosmosul. Se spera, de asemenea, că neutrinii cu masă ar putea ajuta la justificarea misterioasei materii negre (sau întunecate) care, deși era răspândită în întreg Universul, rămăsese neidentificată.

● Neutrinii nestatornici din aer

O mare bucurie i-a cuprins pe specialiștii în neutrini care s-au întâlnit la Takayama, în Japonia, în 1998, când l-au auzit pe Takaaki Kajita luând cuvântul. El a anunțat că un experiment subteran desfășurat în apropiere a găsit dovezi că neutrinii își puteau modifica într-adevăr forma. Kajita prezenta rezultatele unei puternice echipe japonezo-americe alcătuite din 120 de persoane, care lucra cu un detector de neutrini la 1 000 de metri adâncime, în mina de zinc Kamioka.

În comparație cu echipamentul de începător al lui Davis, Super-Kamiokande era mult mai mare și opera mult mai rapid. Un rezervor conținând 50 000 de tone de apă foarte pură a fost căptușit cu peste 11 000 de fotomultiplicatoare – detectoare de lumină uriașe. Acestea înregistrau scintilațiile produse atunci când neutrinii invizibili determinau alte particule să se miște cu viteze mai mari decât viteza luminii în apă.

Rezultatele anunțate în 1998 nu se refereau la neutrinii electronici proveniți de la Soare, ci la neutrinii miuonici formați la mare înălțime în atmosfera terestră, ca urmare a impactului radiației cosmice de mare energie provenite din galaxie. Rezultatul spectaculos obținut cu ajutorul detectorului Super-Kamiokande a fost că mai mulți neutrini miuonici au pătruns în rezervorul de apă de deasupra decât de dedesubt. Planeta noastră este atât de transparentă pentru neutrini încât singura diferență reală era distanța de la punctul lor de origine.

Neutrinii care veneau direct din stratul atmosferic superior de deasupra Japoniei, traversând apoi o bucată din scoarța terestră până la detector, parcurgeau doar 10–20 de kilometri. În schimb, cei proveniți din atmosfera de deasupra Atlanticului de Sud, diametral opus Japoniei pe globul terestru, aveau de parcurs 13 000 de kilometri, direct prin Pământ. De fapt, cei mai mulți neutrini veneau pe o traiectorie înclinată, dar cei ce plecau de dedesubt aveau mai mult de călătorit.

Evident, timpul adițional de călătorie le permitea unor neutrini miuonici să se transforme într-o formă nedetectabilă de către Super-Kamiokande. Acesta era, mai mult ca sigur, neutrinul tauonic. Verdictul cercetătorilor a fost că, într-adevăr, neutrinii se jucau de-a v-ați ascunselea, și probabil aveau cel puțin o masă mică. Majoritatea produșilor atmosferici originali erau neutrini miuonici. Cea mai probabilă transformare a acestora era în neutrini tauonici – o formă de neutrin prezisă teoretic, dar încă nedetectată experimental.

Timp de doi ani după aceea, laboratoarele Fermilab de lângă Chicago au verificat existența neutrinilor tauonici. S-a demonstrat că formau tauoni, electronii supergrei, în urma coliziunilor cu nucleele atomice. Descoperirea urmelor de tauoni, de numai un milimetru lungime, în emulsia fotografică, necesita tehnici de vizualizare tridimensionale, utilizând camere video dirijate de computere, tehnici ce au fost dezvoltate și implementate la Nagoya.

● Soarele a lămurit misterul

Cazul neutrinelor solari dispăruți a fost rezolvat în cele din urmă cu ajutorul primelor observații făcute de un nou detector din Ontario. Observatorul neutrinic de la Sudbury se afla la o adâncime de 2 000 de metri în mina de nichel Creighton. În mijloc are o sferă ce conține 10 000 de detectoare de lumină și 1 000 de tone de apă grea foarte costisitoare, împrumutată de la Atomic Energy of Canada.

În apa grea, hidrogenul-2 sau deuteriul înlocuiește obișnuitul hidrogen-1. Herb Chen de la UC Irvine a atras atenția, în 1984, că apa grea promitea anumite facilități în detectarea neutrinelor. Un tip de reacție nucleară detecta doar neutrinii electronici, în timp ce un alt tip de reacție putea evidenția toate trei formele de neutrini – electronici, miuonici și tauonici. Chen a murit în 1987, nu înainte ca fizicienii din mai multe țări să înceapă să-i pună ideea în aplicare. Observatorul de la Sudbury a început să funcționeze la sfârșitul anului 1999, în cadrul unui proiect canadiano-americo-britanic.

Primele rezultate analizate în 2001 proveneau de la reacția sensibilă doar la neutrini electronici. Rezultatele de la Sudbury au fost comparate cu măsurătorile realizate de Super-Kamiokande în cazul unei reacții cu sensibilitate scăzută la celelalte tipuri de neutrini. Precizia rezultatelor a fost atât de bună încât fizicienii au putut demonstra că neutrinii electronici se transformau în alt tip de neutrini încă înainte de a ajunge pe Pământ.

În 2002 cercetătorii de la Sudbury finalizaseră deja analizele complete ale ambelor tipuri de reacții cu apă grea pentru detecția diferitelor forme de neutrini. Ei au demonstrat în mod decisiv că peste două treimi din neutrinii electronici s-au transformat înainte de a ajunge la detector. Ținând seama și de acești absenți, numărul total de neutrini electronici produși de Soare era foarte aproape de cel prezis.

„Aceste noi rezultate demonstrează într-un mod clar, simplu și precis că neutrinii solari își modifică forma”, a afirmat Art McDonald de la Universitatea din Queen, directorul Observatorului Neutrinic de la Sudbury. „Numărul total de neutrini detectați este în perfectă concordanță cu evaluările reacțiilor nucleare care furnizează energie Soarelui.”

Pentru următoarea fază a operațiilor, s-a adăugat sare în apa grea din observator. Aceasta a mărit substanțial sensibilitatea și a deschis calea unor studii detaliate ale proprietăților neutrinelor solari, inclusiv a diferențelor de masă dintre neutrini și a gradului de tărie al interacțiunilor lor. Ambele cantități ar fi de mare interes pentru teoreticienii care urmăresc să revizuiască Modelul Standard al fizicii particulelor pentru a include și neutrinii într-o manieră adecvată.

Începuse deja o nouă competiție, studiul oscilațiilor neutrinice în condiții mai controlate. Acesta se putea realiza prin bombardarea cu fascicule de neutrini la sute de kilometri prin scoarța terestră, de la acceleratoarele de particule în care aceștia erau creați și până la detectoarele situate în laboratoare subterane la mare

adâncime. Primul studiu de acest gen a demarat în 1999 în cadrul unui experiment japonezo-american-coreean numit K2K, semnificând legătura de la KEK la Kamiokande.

Un accelerator din laboratorul de fizica particulelor KEK, din orașelul științific Tsukuba de lângă Tokyo, trimitea neutrini către detectorul Super-Kamiokande, aflat la 250 de kilometri distanță. În 2001 existau deja dovezi preliminare că neutrinii își schimbau forma pe drum, însă un accident extraordinar a întrerupt experimentul. Un fotomultiplicator detector de lumină al observatorului Super-Kamiokande a implodat declanșând o reacție în lanț de autodistrugere a sticlăriei, ceea ce a eliminat 60 de procente din cele 11 000 de fotomultiplicatoare în doar câteva secunde.

Un experiment asemănător, cu un traseu de bază de 735 de kilometri, a fost programat să înceapă în 2004, între laboratorul Fermilab din Illinois și detectoarele de neutrini din mina de fier Soudan din Minnesota. Ulterior un fascicul de neutrini de la CERN, Geneva, a fost proiectat pe sub masivul Mont Blanc și pe sub orașul Florența, până la marele laborator subteran italian adăpostit de muntele Gran Sasso, pe un traseu de 732 de kilometri.

Pentru masele neutrinelor s-a putut stabili doar o limită inferioară, conform observațiilor solare și atmosferice inițiale. Prin urmare, cercetătorii de la Mainz și Troitsk și-au propus să măsoare direct masa neutrinelor electronici, examinând cu atenție radioactivitatea hidrogenului-3 sau tritiul. Acesta se transformă în heliu-3, eliberând un electron și un neutrin electronic.

Germanii au descoperit tritiul într-o peliculă subțire, iar rușii într-un gaz. Un instrument special conceput măsoară energia electronilor cu mare precizie, căutând o ușoară scădere a energiei maxime. Aceasta s-ar putea datora faptului că masa neutrinelor fură o parte din energie.

„Tot ce putem spune până acum e că masa neutrinelor nu poate fi mai mare de câteva milioane din masa unui electron”, a afirmat Christian Weinheimer din Mainz, în 2001. „Proiectăm un instrument mult mai sensibil pentru un experiment la Centrul pentru Cercetare Karlsruhe, împreună cu prietenii noștri de acolo și cu cei din Troitsk.” Fizicienii de la alte universități germane, precum și cei din Praga și Seattle s-au alăturat în curând acestui proiect destul de dificil de determinare a masei neutrinelor.

● Începutul unei noi ere

Nimic din ceea ce s-a întâmplat după anunțarea dispariției neutrinelor miuonici în 1998 nu ar putea diminua importanța istorică a descoperirii făcute cu detectorul Super-Kamiokande. Ea va rămâne un moment de referință pentru fizica particulelor, ce a marcat începutul unei noi ere în acest domeniu. Teoriile quarcilor și electronilor, precum și ale forțelor care acționează asupra lor, ar putea fi unificate într-un proiect mai mare.

„Teoria actuală despre particulele elementare trebuie modificată”, a afirmat Yoji Totsuka din Tokyo, purtătorul de cuvânt al echipei lui Super-Kamiokande. „Modelul Standard presupune că neutrinii au masa nulă. Descoperirea va face, de asemenea, teoriile Marii Unificări mai viabile și mai atractive, iar Universul se va dovedi că este mai greu decât credem la ora actuală.”

- *Referitor la Marea Unificare, vezi SPARTICULE. Referitor la masa cosmică lipsă, vezi MATERIA NEAGRĂ. Pentru mai multe informații despre neutrini în cadrul Modelului Standard, vezi FORȚA ELECTROSLABĂ. Pentru alte oscilații naturale ce implică mai multe entități, vezi RITMURILE CEREBRALE.*

PARTENERI MOLECULARI



Procese naturale fac munca chimiștilor

STRASBOURG SAU STRASSBURG este amplasat în defileul Rinului dintre munții Vosgi și munții Pădurea Neagră. Orașul este mai aproape de München decât de Paris, iar repetatele schimburi de teritorii între francezi și germani au adâncit problema de identitate a alsacienilor. Aceasta nu a fost rezolvată până când, după restituirea Alsaciei către Franța din 1945, Strasbourg a devenit orașul preferat pentru instituțiile europene. Dar, datorită istoriei, alsacienii au fost mai în măsură decât toți ceilalți să reziste exportului de inteligență înspre Paris și să-și urmeze propriile idei, fie acestea despre câini, ceramică sau știință.

Jean-Marie Lehn, un tânăr bursier postdoctoral de 28 de ani din Strasbourg, a început în 1967 un nou tip de chimie, ce avea să devină o temă esențială a cercetării secolului al 21-lea în întreaga lume. Ea combina biologia, fizica și ingineria. Deoarece nu studia moleculele individuale, formate prin legăturile dintre atomi, ci se ocupa de asocierile și interacțiunile mai slabe între două sau mai multe molecule, el și-a numit inovația chimie supramoleculară.

Lehn a petrecut un an la Harvard, timp în care a contribuit, ca asistent de cercetare științifică, la un tur de forță al chimiei moleculare. Acesta a constatat în sintetizarea vitaminei B₁₂, și a fost realizat de Robert Woodward împreună cu o echipă numeroasă de cercetători. Era cea mai complexă moleculă ce s-a produs vreodată pornind de la zero. Experiența a fost nu numai instructivă din punct de vedere tehnic, ca sinteză de laborator, ci și stimulativă. Trebuie chimia să fie așa de dificilă?

Preocuparea sa filozofică în privința modului de funcționare a creierului la cel mai elementar nivel chimic, prin controlul trecerii ionilor de sodiu și de potasiu prin pereții celulelor nervoase, l-a îndemnat pe Lehn să cerceteze substanțe capabile să transporte acești ioni prin membranele biologice. Antibioticele naturale în formă de inel sunt o categorie de asemenea substanțe. Charles Pedersen de la Laboratorul DuPont din Delaware a descoperit o altă categorie de compuși chimici, eterii ciclici. Aceștia sunt inele de atomi de carbon și de oxigen de forma unei coroane, care pot forma legături puternice cu ioni de litiu, sodiu, potasiu, rubidiu sau cesiu.

Lehn a dezvoltat al treilea tip de structuri, molecule în formă de cușcă, ce pot atrage ioni în cavitatea lor internă tridimensională, formând astfel specii pe care

el le-a numit criptate. Acestea erau mult mai selective cu oaspeții lor metalici, alegându-i în funcție de dimensiunile relative ale ionilor lor față de dimensiunile cavităților. Lehn a mers mai departe și a inventat molecule capabile să captureze molecule întregi în cavitățile și fisurile din structurile lor tridimensionale.

La acea vreme, biologii moleculari descopereau că enzimele, proteinele care catalizează reacțiile biochimice în celulele vii, acționează în acest mod. Conform predicției geniale a lui Emil Fisher de la Berlin, din 1899, molecula care este procesată se potrivește perfect într-o moleculă de enzimă, ca o cheie într-o broască de ușă. Acest tip de asociere, bazat pe potrivirea perfectă între parteneri, a fost modelul pe care l-a avut Lehn în vedere atunci când a început să dezvolte ansambluri supramoleculare de substanțe sintetice, care prezentau o astfel de identificare moleculară.

Când doi atomi se unesc printr-o legătură permanentă, ca aceea dintre atomii de hidrogen și de oxigen din apă, se formează o moleculă. Într-o supramoleculă legăturile sunt mai slabe, precum cele dintre moleculele de apă în gheață. Și la fel cum gheața se poate topi, o supramoleculă se poate descompune ușor în părțile ei componente.

Alte noi direcții de cercetare s-au dezvoltat atunci când Lehn a trecut la asamblarea moleculelor artificiale în „mecanisme moleculare”. Folosind capacitatea lor de a identifica, transporta și modifica moleculele-țintă, acestea ar trebui să poată efectua operații de transmitere a semnalelor și de procesare a informației la o scară incredibil de mică. Însă Lehn se aștepta ca realizarea acestor „mașini” chimice să se bazeze în mare măsură pe capacitatea moleculelor de a se autoasambla în suprastructuri bine definite, proces numit autoorganizare supramoleculară.

● Tipare și mulaje moleculare

În 1996, Lehn era pe cale să aplice mecanismul selecției naturale la moleculele care se autoorganizează, pentru a le alege pe cele mai potrivite pentru scopul lor. Un tânăr chimist care colabora cu el, Bernold Hasenknopf, a descoperit că moleculele artificiale în formă de inel aveau capacitatea de a-și adapta mărimea, în mod reversibil, pentru a imita speciile prezente în mediu. Apoi, un alt colaborator, Ivan Huc, a transmis o combinație de mici molecule sintetice, numite aldehide și amine, unei faimoase enzime naturale, anhidraza carbonică. Ar fi putut la fel de bine să fie o moleculă artificială cu o cavități, dar e mai ușor să folosești enzime deja existente.

Moleculele mici au format spontan ansamblul supramolecular ce se potrivea cel mai bine în spațiul gol al enzimei. Pentru a înțelege elementul de noutate aici, gândiți-vă că un biolog ar putea fi interesat cum și-a dezvoltat anhidraza carbonică cavitățile pentru a se potrivi cu molecula naturală pe care o procesează. Sau pornind invers, un chimist utilizând metodele tradiționale ar sintetiza multe

molecule diferite și le-ar testa pe rând pentru a vedea dacă, din întâmplare, se potrivește vreuna cu cavitatea enzimei.

Spre deosebire de aceste demersuri, Huc și Lehn s-au bazat pe legăturile aleatoare între micile molecule pentru a forma grupări care își testează singure compatibilitatea cu enzima. Generarea continuă a tuturor parteneriatelor posibile între componentele moleculare a activat toate caracteristicile și aptitudinile pentru interacțiunea supramoleculară, care erau latente în combinația de molecule. Astfel ansamblurile incompatibile cu cavitățile enzimelor ieșeau discret din scenă.

Treptat, moleculele enzimei și-au completat valențele libere cu grupări supramoleculare care li se potriveau perfect. Acesta era echivalentul chimic al realizării unui mulaj după o matriță concavă. Invers, procesul studiat anterior de Hasenknopf echivala cu turnarea unei cavități supramoleculare în jurul unei molecule convexe la alegere.

„Ambele procese se reduc la generarea celui mai potrivit”, au concluzionat Huc și Lehn, „și prezintă adaptări și evoluții prin recombinația spontană datorată schimbărilor ce apar în parteneri sau în condițiile de mediu. Astfel, ele reprezintă un fel de darwinism supramolecular!”

La sfârșitul secolului, Lehn conducea Institutul de Știință și Inginerie Supramoleculară din Strasbourg și un proiect paralel la Collège de France din Paris. Alte proiecte de cercetare în domeniul chimiei supramoleculare au fost demarate în multe laboratoare din lume. O avalanșă de simpozioane, cărți și articole pe această temă a confirmat că o nouă ramură a științei era în curs de apariție.

● Rotoare moleculare și modele de cochilii

Un indiciu despre ceea ce avea să urmeze a apărut în 1998, sub forma unui rotor molecular, proiectat de Institutul de Cercetare al companiei IBM din Zürich cu participarea Institutului Național Risø din Danemarca. James Gimzewski și colegii săi au depus un strat de molecule spiralate, numite hexabutil decaciclene, pe o suprafață de cupru. Ele s-au aranjat singure după un model hexagonal static, dar în unele locuri erau spații libere de dimensiunea a două milionimi de milimetru, în care fiecare moleculă se separase de vecinii săi. Fiecare dintre acestea se rotea cu mare viteză, moleculele din jur acționând ca un rulment fără frecare.

„Experimentul nostru cu rotorul deschide calea producerii motoarelor supramoleculare uluitor de mici”, a spus Gimzewski. „Și e interesant că ne apropiem de limitele impuse de legile termodinamicii, care interzic mecanismele de tip perpetuum mobile. În experimentul inițial, rotorul se învârtea în ambele direcții. Pentru ca o moleculă să se rotească doar într-o direcție, pentru a avea un randament bun, trebuie să introducem energie în sistem. Cu toate acestea, încă ne mai putem aștepta la valori ale randamentului apropiate de valoarea teoretică maximă.”

Deși capacitatea enzimelor naturale de a forma asocieri temporare cu alte substanțe a fost o sursă de inspirație importantă cu privire la parteneriatele

moleculare, ideile chimiștilor despre interacțiunile supramoleculare au oferit la rândul lor un feedback biologiei. De exemplu prolificile diatomee, numite adesea bijuteriile mării, sunt alge monocelulare ale căror cochilii prezintă minunate modele simetrice. Acestea sunt suficient de diferite încât să le permită biologilor marini și căutătorilor de fosile să identifice mai multe mii de specii de diatomee. Manfred Sumper de la Universitatea Regensburg a reușit să explice, cu ajutorul chimiei supramoleculare, cum își formează cochiliile diatomeele.

În acest caz, parteneriatul implică molecule cu catena lungă, poliamine și silicele din care sunt alcătuite cochiliile. Poliaminele formează particule mici sau micle, care se aranjează singure după un model hexagonal. Acestea adună silicele în jurul lor, formând astfel o cochilie în formă de fagure. Poliaminele se consumă în timpul acestui proces, iar miclele se divizează, continuând realizarea modelului până la cele mai mici dimensiuni. „Modelele posibile ale cochiliilor diatomeelor par să depindă în special de lungimea catenei poliaminei folosite de fiecare specie”, a concluzionat Sumper.

● Un plan uluitor

La Strasbourg, Jean-Marie Lehn își făcea planuri pe termen lung. Tot ce se petre-cuse în cercetarea chimiei supramoleculare până în acel moment era, în opinia sa, doar o repetiție pentru proiectele de anvergură ce aveau să urmeze. El le-a sintetizat într-un șir de atribute, scriind despre „materia evolutivă complexă, care conține informație și se autoorganizează”.

Prin sintagma „care conține informație” el înțelegea, inițial, parteneriate de molecule ce puteau stoca informație și care puteau fi programate să realizeze o succesiune de operații. Pe termen lung, ansamblurile de molecule trebuiau să devină capabile să învețe din propriile experiențe. Aceasta era o parte esențială a strategiei lui Lehn. Inventarea și sintetizarea parteneriatelor necesare prin chimia convențională ar fi durat o veșnicie. De aceea, e mai bine să lăsăm procesele naturale să facă aceasta, ca și în cazul completării spontane, autoorganizate, a cavităților enzimelor.

Lehn considera că ideea sa de evoluție darwinistă a moleculelor va conduce la o post-evoluție darwinistă în care parteneriatele supramoleculare vor acționa ca niște entități inteligente, capabile să-și modeleze propriul viitor. În final ele ar putea concura cu însăși viața. Lehn a prezis că: „Prin descoperirea progresivă, înțelegerea și implementarea regulilor ce guvernează evoluția de la materia neînsuflețită la cea vie, vom dobândi capacitatea de a crea noi forme de materie complexă”.

În planul său aproape incredibil, oportunitățile pentru tinerii cercetători vorbesc prin ele însele. Cum se întâmplă adesea cu științele noi, la început retorica a depășit realitatea, dar viteza progresului pe termen lung este mai degrabă limitată de imaginația umană decât de posibilitățile chimiei. Pentru a trece de la parteneriatul atomilor în molecule din secolul al 19-lea la parteneriatul moleculelor în grupări

supramoleculare din secolul al 21-lea, va fi necesară o schimbare de mentalitate și de atitudine. Aceasta ar putea să scoată chimia din culisele științelor naturii.

Chimiștii care au avut contribuții importante în știință, tehnologie, agricultură și medicină în ultimii 200 de ani se aflau ascunși de obicei, aidoma bucătarilor, în spatele banchetelor fizicii, biologiei și industriei. Rețetele lor, ca și cele ale matematicienilor, erau scrise într-o limbă străină, cu simboluri ciudate, descurajând posibili fani. Terminologia nu va fi mai simplă, dar rolul bucătarilor va fi mai puțin complicat atunci când vor începe să servească felurile de mâncare cu ajutorul roboților moleculari, construiți din atomi obișnuiți de pe planetă.

- Pentru alte informații corelate din chimia fizică, vezi **FULLERENE ȘI NANOTUBURI** și **MATERIALE DEZORDONATE**. Pentru o altă consecință a parteneriatelor moleculare, vezi **ORIGINEA VIEȚII**.



De este el atât de diferit de toate celelalte
planete ale Soarelui?

FOTOGRAFIILE MINUNATEI NOASTRE PLANETE ALBASTRE înconjurate de nori, realizate din spațiu de către astronauții misiunilor Apollo către Lună, la sfârșitul anilor 1960 și începutul anilor 1970, au avut un impact deosebit asupra conștiinței publice. Din punct de vedere emoțional, ele au încheiat, după 400 de ani, revoluția începută de Copernic. Cunoașterea abstractă a faptului că Pământul este doar o planetă mică printre altele a făcut loc unor dovezi vizuale fascinante. Pentru ecologiști, care de altfel se plâneau de cheltuielile exagerate implicate de cursa spațială, aceste imagini au devenit adevărate icoane. „Iat-o”, spuneau. „Aveți grijă de ea!”

Una dintre imaginile preferate înfățișa Pământul răsărind deasupra orizontului lunar, ca și când ar fi fost luna Lunii. Alte imagini din acea perioadă meritau să fie cunoscute mai bine decât au fost la vremea aceea. În drum spre Jupiter, în 1977, sonda spațială Voyager a privit înapoi înspre Pământ pentru a-și testa camerele video. Imaginile transmise prin radio arătau nu doar un glob mic, singuratic în spațiu, ci două astfel de sfere asociate.

Întrebarea-cheie pentru astrofizicienii care explorau sistemul solar a fost întotdeauna: De ce este Pământul atât de singular și, mai ales, favorabil vieții? În mod

frecvent, costul trimiterii unei nave spațiale pe altă planetă a fost explicat contribuabililor de la sol prin motivul că pentru a avea grijă de planeta noastră așa cum se cuvine, trebuie să o cunoaștem în profunzime. La sfârșitul secolului al 20-lea, experții au început să-și dea seama că o parte din explicația unicității Pământului era chiar în fața lor, în fiecare noapte luminată de lună.

Lunile ce se rotesc în jurul altor planete sunt de obicei minuscule în comparație cu dimensiunile planetelor. Excepție face mica planetă Pluto, aflată dincolo de toate planetele principale. Luna lui, numită Charon, are lățimea egală cu jumătate din diametrul lui. Luna noastră este mai mare decât Pluto și nu cu mult mai mică decât Mercur. Diametrul ei reprezintă 27 de procente din cel al Pământului. Nimeni nu ezită să scrie legat cu cratimă Pluto-Charon, ca o planetă dublă, și acum în sfârșit putem vorbi și despre cuplul Pământ-Lună.

Un aspect al vieții pe o planetă dublă se referă la crearea cuplului Pământ-Lună. Dacă, așa cum se bănuiește, evenimentul a fost extrem de violent, aceasta ar putea explica de ce geologia Pământului este neobișnuită. În plus, din teoria haosului, rezultă că Luna, în calitate de consoartă, protejează Pământul de perturbări majore ale orbitei sale și ale orientării în spațiu. În caz contrar, aceste perturbări ar fi putut să-i afecteze grav clima și să-i ucidă toate viețuitoarele.

Particularitățile atmosferei și hidrosferei terestre ridică un nou set de probleme. Oxigenul este un produs al vieții înseși, dar concentrația relativ mare de azot din atmosferă este o caracteristică destul de rară. Singurele alte locuri în Sistemul Solar cu apă lichidă din belșug sunt adâncurile a trei sateliți ai lui Jupiter. Raritatea acestui fenomen poate fi pusă pe seama caracterului întâmplător al producerii lichidelor, vaporilor și a gazelor la suprafața corpurilor cerești solide, proces care în cazul Pământului a avut o mare rată de succes.

Doar pe planeta albastră se poate vedea steaua-mamă strălucind blând pe deasupra apelor – în care mișună planctonul și peștii –, și a dealurilor și câmpiilor verzi și fertile. A vorbi despre noroc în acest caz nu este doar o simplă ipoteză, ci o explicație serioasă pe care au dat-o teoreticienii faptelor descoperite de sondele spațiale în urma cercetării planetelor și lunilor din Sistemul Solar. Planeta Venus a oferit însă cea mai mare surpriză.

● Sora cea urâtă

Cu peste 4 000 de ani în urmă, în primele cetăți de pe teritoriul actual al Irakului, sumerienii închinau imnuri de slavă reginei Paradisului, Inanna, și „apariției ei strălucitoare pe cerul serii”. În acele vremuri îndepărtate, ce nume ar fi fost mai potrivit pentru cea mai strălucitoare planetă, dacă nu cel al zeiței frumuseții și a senzualității? Venus este o planetă cunoscută de aproape toată lumea. Însă astronomul olandez Christiaan Huygens a descoperit, în secolul al 17-lea, că norii permanenți care dădeau strălucire acestei planete împiedicau totodată telescoapele de pe Pământ să-i cerceteze suprafața.

Constrânși fiind doar de cunoștințele pe care le aveau, că Venus era aproape o soră geamănă a Pământului în privința mărimii și doar puțin mai aproape de Soare, oamenii de știință erau la fel de liberi ca și scriitorii de science-fiction să lanseze ipoteze asupra minunilor ce așteptau să fie descoperite dincolo de nori. În 1918, Svante Arrhenius de la Stockholm și-a imaginat-o ca pe o planetă mustind de apă și acoperită de o vegetație luxuriantă. În 1961, radarele arătasera deja că Venus se rotește în jurul axei sale în sensul invers rotației Pământului și a altor planete, dar foarte lent.

Misiunile spațiale pe Venus au ridicat vălul de pe zeița frumuseții și au scos la iveală... o babă. Pe măsură ce tot mai multe sonde spațiale ale SUA și ale Uniunii Sovietice s-au îndreptat spre Venus, începând din 1962, au apărut tot mai multe indicii că nu era o planetă frumoasă. Aproape toată apa pe care Venus ar fi putut să o aibă cândva dispăruse, probabil descompusă în straturile înalte ale atmosferei de către radiația solară și datorită pierderii hidrogenului în spațiu. Atmosfera sa conține nu mai puțin de 96 de procente de dioxid de carbon, iar norii sunt alcătuiți din acid sulfuric.

În 1982, când sonda spațială Venera 13, aparținând Uniunii Sovietice, a ajuns pe suprafața venusiană, termometrul ei indica 482°C, mult peste punctul de topire a plumbului. Presiunea atmosferică strivitoare era de 96 de ori mai mare decât pe Pământ, echivalentul presiunii apei la circa 1 000 de metri sub nivelul mării. Venera 13 și alte sonde care au aterizat pe Venus au trimis pe Pământ imagini ale unor roci gri-maronii, ulterior clasificate drept rocă vulcanică, răspândite sub un cer portocaliu. Cât despre intensitatea luminii, directorul programului spațial sovietic, Roald Sagdeev, a descris-o ca fiind „similară celei din Moscova într-o zi noroasă de iarnă, la prânz”.

Nici imaginea mai vastă a lui Venus nu l-ar fi fermecat pe Boticelli. Sonda Magellan a agenției NASA, care a rămas pe orbita planetei din 1990 până în 1994, a întocmit o hartă a suprafeței venusiene cu ajutorul radarului, dezvăluind astfel detalii de până la 100 de metri. Pe măsură ce munții și câmpiile deveneau vizibile în imaginile radar, cu mari râuri înghețate de lavă și domuri vulcanice turtite, suprafața planetei s-a dovedit a fi ciupită, ca după variolă, de multe cratere datorate impacturilor cu meteoriți.

Pe Pământ, activitatea geologică tinde să vindece asemenea stigmate, dar se pare că nu și pe Venus. Când cercetătorii proiectului Magellan au numărat craterele, pentru a stabili vechimea diferitelor regiuni, au descoperit că întreaga regiune avea aceeași vârstă, iar măsurătorile gravitaționale regionale nu au arătat nicio nepotrivire între topografie și atracția gravitațională, nepotrivire care, pe Pământ, indică o geologie activă.

„Venus a fost în întregime acoperită de râuri de lavă, majoritatea oprindu-se cam cu o jumătate de miliard de ani în urmă”, a afirmat Steve Saunders, coordonatorul științific al proiectului Magellan al NASA. „Cu excepția a câtorva frumoase

parapete vulcanice în câmpii, a unor cratere de impact dispersate și poate a unei mici eroziuni eoliene, nu s-au schimbat prea multe de atunci. Deci Venus se comportă într-un mod complet diferit de Pământ și nu știm sigur din ce cauză.”

Pe planeta noastră, cutremurele, vulcanii și deriva măsurabilă a continentelor care călătoresc pe plăcile tectonice pe întreaga suprafață a globului sunt dovezi ale unei activități geologice neconținute. Munții apar și dispar prin eroziune, oceanele se măresc și se micșorează. Continua înprospătare a suprafeței Pământului îmbogățește oceanul și uscatul cu elementele esențiale vieții.

Imaginea planetei Venus ca o mască a morții a fost un adevărat șoc pentru toți. Alte planete alcătuite din rocă sunt înghețate din punct de vedere geologic – Mercur, cea mai apropiată de Soare și Marte, aflată în partea rece a Pământului. În aceste cazuri nu este nicio surpriză. Ele sunt mult mai mici decât Pământul sau Venus. În timpul celor 4,5 miliarde de ani de când au apărut toate planetele, Mercur și Marte au pierdut deja în spațiu toată căldura internă necesară unei activități geologice.

Suprafața lui Mercur este doar o masă de cratere de impact ca și Luna. Pe Marte, imenși vulcani stinși sunt mărturia unei intense activități geologice, care se poate să se fi oprit în urmă cu un miliard de ani. Pe suprafața lui Marte, canalele asemănătoare unor râuri, acum secate, dovedesc că prin acele albiu curgea odinioară apă. Părerile sunt împărțite dacă apa era din abundență pe Marte sau era doar o prezență temporară. S-a sugerat că impacturile cu cometele au fost o sursă de inundații bruște. La fel și topirea solului înghețat, sub acțiunea căldurii vulcanice sau a schimbărilor de înclinare a axei de rotație a lui Marte.

Cercetătorilor nu le vine să creadă că mult mai masiva planetă Venus s-a răcit atât de mult încât rocile de la suprafață sunt tot timpul în stare solidă. Așa că își imaginează că suprafața ei se înprospătează periodic. Roca topită se acumulează până când devine capabilă să străpungă crusta înghețată printr-o erupție imensă, total potrivnică vieții, dacă aceasta există cumva. Nu este deloc clar prin ce mecanism are loc remodelarea suprafeței în mod global. Rezultatul este însă că întreaga crustă a lui Venus constă într-o singură placă imobilă, spre deosebire de Pământ, unde o duzină de plăci se află în permanentă mișcare.

„Motivul pentru care plăcile nu se mișcă pe Venus ar putea fi pur și simplu absența apei, care lubrifică marginile plăcilor pe Pământ”, a afirmat Francis Nimmo, cercetător al planetelor de la University College din Londra. „Rocile interioare ale planetei noastre rămân umede pentru că primesc apă de la suprafață, compensând-o pe cea pe care o pierde în atmosferă datorită vulcanilor. Deci nu putem separa istoriile geologice ale planetelor de ceea ce s-a petrecut cu atmosferele lor și cu rezervele lor de apă.”

● Sateliții suprarealiști ai planetelor periferice

Planetele sunt toate diferite datorită mecanismului lor de formare specific. În scenariul formării planetelor, acceptat în prezent, la nașterea sistemului solar,

praful s-a condensat în bulgări din ce în ce mai mari până când, în ultimele stadii ale apariției planetelor, marii lor precursori s-au sfărâmițat. Coliziunile lor violente au dus fie la contopire, fie la fragmentare.

Natura violentă și aleatoare a procesului nu a fost apreciată la justa ei valoare atât timp cât cercetătorii aveau doar cinci corpuri solide mici pe care le puteau studia amănunțit – Mercur, Venus, Pământul, Luna și Marte. Deși marile planete periferice – Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun – sunt giganți alcătuiți din gaze și gheață, cu totul diferiți de Pământ, ele au un mare număr de sateliți naturali care le însoțesc și multă materie fragmentată în inelele ce le înconjoară. Acestea au adus o nouă viziune asupra transformării corpurilor cerești mici.

Cea mai lungă călătorie a secolului al 20-lea a început în 1977, o dată cu lansarea celor două nave spațiale Voyager de către NASA. Pentru a le vizita pe toate pe rând, proiectul s-a folosit de alinierea favorabilă a celor mai mari planete, poziție care apare doar o dată la 175 de ani. Voyager 2 și-a îndeplinit în totalitate misiunea, în timp ce Voyager 1 a fost deviată spre Titan, satelitul lui Saturn, pentru studierea lui în amănunt. Coordonatorul științific al proiectului Voyager era Ed Stone de la Caltech, care mai târziu a devenit directorul centrului JPL (Jet Propulsion Laboratory) al NASA.

„O călătorie de 12 ani înspre Neptun”, își amintea Stone, „era o provocare tehnică atât de mare încât NASA s-a angajat doar pentru o misiune de patru ani spre Jupiter și Saturn, cu Voyager 2 ca rezervă, având și scopul de a asigura explorarea inelelor lui Saturn și a satelitelui său gigant – Titan. O dată cu zborul de cercetare al lui Voyager 1 de la sfârșitul anilor 1980, NASA ne-a dat permisiunea să trimitem naveta Voyager 2 într-o călătorie mai lungă spre Uranus. După explorarea lui Uranus, în 1986, ni s-a spus că putem porni spre Neptun, dar întâlnirea cu Neptun din 1989 nu a fost finalul călătoriei. Sondele Voyager se îndreaptă acum spre limita Sistemului Solar, pe care o vor atinge înainte de 2020, având încă suficientă energie pentru a transmite informații spre Pământ”.

O adevărată performanță pentru o navă spațială cântărind mai puțin de o tonă și folosind tehnologia anilor 1970! Imaginile surprinse de sondele Voyager, trimise prin radio din apropierea giganticelor planete, au captivat atât publicul, cât și oamenii de știință. Măreția prim-planurilor lui Jupiter, complexitatea inelelor lui Saturn, vremea surprinzătoare de pe Neptun, unde lumina Soarelui abia are o miime din puterea ei pe Pământ – toate acestea erau adevărate minunății. Însă aspectul cel mai uluitor a fost varietatea sateliților giganti ai planetelor. Geologia extraterestră devenise suprarrealistă.

Io, un satelit al lui Jupiter, părea o portocală putrezită pătată cu mușgai alb și negru. În timp ce căuta stele de reper pentru navigație pe fundalul unei imagini a lui Io, un inginer al sondei Voyager a NASA, Linda Morabito, a observat un vulcan care erupea. Era prima dată când un vulcan activ era observat în alt loc decât pe Pământ! În timpul scurtelor treceri ale lui Voyager 1 și 2, au avut loc

nouă erupții pe Io, în urma cărora au fost evacuate materii sulfuroase cu o viteză de un kilometru pe secundă, dând naștere la dăre de fum vizibile pe o distanță de 300 de kilometri în spațiu.

Ionii de sulf, de oxigen și de sodiu de pe Io, absorbiți în puternicul câmp magnetic al lui Jupiter, formează în jurul planetei un inel care emite lumină ultravioletă. Căldura vulcanică provine de la mările imense, ridicate pe Io de atracția gravitațională a sateliților din apropiere și a lui Jupiter. Încălzirea mareică mai puțin intensă a Europei, un alt satelit al lui Jupiter, menține sub o suprafață groasă de gheață un ocean de apă lichidă – de neimaginat la o asemenea distanță față de Soare.

Despre cel mai mare satelit al lui Saturn, Titan, se știa deja că are o atmosferă unică ce include gazul metan, deși sunt păreri împărțite în privința grosimii stratului. Din acest motiv Voyager 1 și-a schimbat cursul pentru a o cerceta, dezvăluind că atmosfera lui Titan conține în special azot și este mai densă decât atmosfera Pământului. Instrumentele sondei nu au reușit să vadă suprafața lui Titan prin ceața portocalie, dar au detectat în atmosferă alți compuși ai carbonului, stârnind apetitul cercetătorilor pentru mai multe informații.

Când Voyager 2 a ajuns la Uranus, Miranda, satelitul lui apropiat, s-a dovedit a fi o altă ciudățenie, cu canioane de 20 de kilometri adâncime și un mozaic de suprafețe de vârste diferite. Aceasta a dus la explicația că un impact puternic ar fi sfărâmat în bucăți satelitul Miranda, iar acestea s-au reasamblat apoi la întâmplare. Geologie în plastilină, ca să zic așa.

Pe cel mai mare satelit al lui Neptun, Triton, Voyager 2 a observat gheizere uriașe ce aruncau azot și praf la mii de metri înălțime într-o atmosferă extrem de rarefiată. Această activitate era cu atât mai remarcabilă cu cât Voyager 2 a măsurat temperatura la suprafață ca fiind de -235°C , ceea ce o făcea cel mai friguros loc din sistemul solar. Triton pare să fie o geamănă a micuței și îndepărtatei planete Pluto, capturată de către Neptun, iar căldura generată de maree, mai mare decât pe Io, ar fi putut topi o bună parte din interiorul satelitului.

Realizările sondelor Voyager au provenit în urma unor supravegheri continue ale planetelor și sateliților lor. Pentru studii mai detaliate era nevoie ca navele spațiale să orbiteze în jurul fiecărei planete în parte și să facă observații timp de ani la rând, la distanțe foarte mici. Când sonda Galileo aparținând NASA a intrat pe orbita lui Jupiter, la sfârșitul anului 1995, a descoperit că unii vulcani de pe Io sunt mai fierbinți decât cei de pe Pământ și erup roci silicaticice topite care izvorăsc prin crusta sulfuroasă. Pe baza indicațiilor magnetometrului de pe Galileo, cercetătorii au dedus prezența apei lichide pe sateliții lui Jupiter, Ganymede și Callisto, deși la o adâncime mult mai mare decât pe Europa, unde o descoperise echipa sondei Voyager.

În imaginile recente ale satelitului Europa, pe care se găsește mai multă apă lichidă decât pe Pământ, Gregory Hoppa și colegii săi din Arizona au descoperit fisuri stranie, curbate, ce se formează periodic la suprafață. Mările puternice ale oceanului subteran ondulează continuu crusta de gheață groasă de câțiva kilo-

metri. Fisurile ajung la dimensiuni de aproximativ 100 de kilometri în 3,6 zile, timpul de care are nevoie Europa pentru a realiza o rotație completă în jurul lui Jupiter.

„Ai putea păși paralel cu vârful unei crăpături în timp ce se formează”, remarca Hoppa. „Și cu toate că nu este destul aer pentru ca sunetul să se propage, cu siguranță ai simți vibrațiile pe măsură ce apar.”

Satelitul învăluit în ceață al lui Saturn, Titan, a rămas cel mai misterios obiect din Sistemul Solar. În 1997 NASA a trimis sonda spațială Cassini să studieze în detaliu planeta, inelele și sateliții săi, orbitând în jurul lui Saturn între anii 2004 și 2008. Titan a fost ținta principală, atât a celor 30 de „vizite” ale sondei Cassini, cât și pentru modulul european Huygens, care urmează să fie lansat de pe Cassini și parașutat prin atmosferă¹.

Pentru echipa Cassini-Huygens, originea atmosferei unice a lui Titan, conținând azot și hidrocarburi, era un adevărat mister. La fel de misterioase erau și ipotezele referitoare la geologia, meteorologia și chiar oceanografia satelitului pe care modulul Huygens le-ar fi putut dezvălui. Gheizere împrăștiind hidrocarburi asemenea sondelor de petrol de pe Pământ? Aisberguri colorate sinistru plutind pe o mare de metan și etan? După surprizele de pe Io, Triton și Europa, orice părea posibil.

● Este Luna fiica Pământului?

Datorită explorării spațiale, astronomii și geofizicienii au devenit mult mai conștienți de mecanismul de „ruletă planetară” care a dus la apariția Pământului. Succesiunea și dimensiunea coliziunilor, mai ales înspre sfârșitul procesului de formare a planetelor, trebuie să fi avut un rol important, dar aleator, asupra aspectului corpurilor cerești rezultante.

Iar când procesul de formare s-a finalizat în esență, a continuat să plouă pe planete cu cantități impresionante de comete și asteroizi, timp de o jumătate de miliard de ani. Acestea au adăugat sau înlăturat materie, afectând mai ales atmosferele și oceanele, în cazul în care acestea existau.

Natura ultimă a Pământului era predeterminată într-o atât de mică măsură încât teoriile amănunțite despre formarea lui sunt înconjurată încă de mari incertitudini. La începutul secolului al 21-lea, unele probleme au atras atenția, mai ales cele referitoare la două corpuri cerești: Mercur și Luna.

Un plan inteligent a permis sondei spațiale Mariner 10, lansată de NASA, să zboare pe lângă Mercur de trei ori, în anii 1974–1975. Rezultatele le-au dat bătăi de cap oamenilor de știință mult timp după aceea. Mercur are o densitate mult mai mare decât oricare altă planetă și, spre deosebire de planeta Venus, care este mult mai mare, are un câmp magnetic. Se pare că planeta este compusă în special din fier, iar dacă a avut vreodată o manta groasă din roci silicice, ca Venus,

¹ Modulul Huygens a fost lansat de pe Cassini în decembrie 2004 și a ajuns la sol, pe Titan, la 15 ianuarie 2005 (n. red.).

Pământul și Marte, a pierdut-o aproape în întregime. Suprafața poartă urmele unor impacturi foarte violente. Poate unul din ele a spulberat rocile din manta.

Enigmele planetei Mercur ar putea fi descifrate doar cu informații mai amănunțite și, după o pauză de câteva decenii, s-au aprobat noi misiuni spațiale spre aceasta. În 2009, Messenger, o mică sondă spațială a NASA, este programată să orbiteze în jurul lui Mercur. Câțiva ani mai târziu se așteaptă să sosească acolo alte două sonde orbitale și un modul de aterizare, parte dintr-un proiect mai ambițios european-japonez. Acesta se numește BepiColombo, după numele savantului din Padova care a conceput zborurile de cercetare ale lui Mariner 10.

„Ne așteptăm la un adevărat masacru al multor teorii atunci când îl vom putea explora pe Mercur în detaliu”, a afirmat Tilman Spohn de la Münster, membru al echipei științifice a proiectului BepiColombo. „Foarte simplu, această misiune ne va deschide ochii asupra unor informații vitale despre originea planetelor, pe care încă nu le cunoaștem. Și după BepiColombo vom putea aprecia mai bine dacă planetele asemănătoare Pământului sunt ceva obișnuit în Univers, sau dacă planeta noastră este cumva rezultatul unei întâmplări fericite.”

Originea Lunii s-ar putea afla într-un impact gigantic asupra Pământului, asemănător celui care este posibil să fi afectat planeta Mercur. Alistair Cameron de la Harvard a început să studieze această posibilitate în anii 1970. El și-a perfecționat teoria până la sfârșitul secolului, când aceasta a devenit deja scenariul preferat pentru mulți cercetători ai planetelor.

O teorie anterioară susținea că Pământul se învârtea atât de repede imediat după formarea sa, încât Luna s-a desprins de el ca o piatră dintr-o praștie. O altă teorie presupunea că Pământul și Luna s-au format ca o planetă dublă, așa cum adeseori stelele apar în perechi numite sisteme binare. Conform unei a treia ipoteze, Luna s-a format în altă parte și a fost ulterior capturată de către Pământ.

Toate aceste teorii aveau neajunsuri, însă după ce oamenii de știință au interpretat mostrele de rocă selenară aduse de către astronauți și au sistematizat informațiile altor misiuni spațiale despre violența evenimentelor din sistemul solar, au fost de acord cu ipoteza impactului. Cele mai concludente au fost analizele rocilor selenare, care erau asemănătoare celor de pe Pământ în anumite privințe și diferite în altele.

Se presupune că un obiect de mărimea planetei Marte a lovit Pământul tocmai când formarea sa era aproape finalizată. O explozie uriașă a împrăștiat resturi, atât din corpul de impact vaporizat, cât și din materia expulzată din interiorul Pământului. Majoritatea resturilor s-au pierdut în spațiu, dar o cantitate considerabilă a ajuns pe orbita planetei noastre și s-a coagulat formând Luna – ceea ce face ca acest satelit să fie fiica Pământului.

Inițial se pare că Luna ar fi fost mult mai aproape decât acum și acțiunea puternică a mareelor, asemănătoare celor de pe sateliții Io sau Europa, a indus o încălzire în interioarele tinerelor corpuri cerești (Pământul și Luna). Micșorarea

Pământului prin pierderea unei părți din mantaua sa de roci silicatrice – prin liposucție planetară, ca să spunem așa – ar fi avut efecte de durată asupra convecției termice și a activității geologice din litosferă. Acest scenariu este atât de important pentru a înțelege originea, evoluția și comportamentul planetei Pământ încât verificarea sau respingerea lui a devenit o urgență.

Mult timp după ce s-au întors de pe Lună ultimii astronauți, au fost trimise din nou acolo nave spațiale fără echipaj din SUA, Japonia și Europa, pentru a o cerceta de pe orbită. Sonda europeană Smart-1, care trebuie să ajungă acolo în 2005, este dotată cu un instrument cu raze X, special pentru verificarea ipotezei impactului. Atomii elementelor chimice care compun suprafața selenară emit radiații X cu anumite energii caracteristice, iar Smart-1 va verifica dacă proporția relativă a unor elemente – în special cea a fierului în raport cu magneziul și alumiuniul – este în acord cu predicțiile teoriei impactului.

„Surprinzător, nimeni nu a efectuat până acum cercetările pe care le proiectăm noi”, afirma Manuel Grande de la Laboratorul Rutherford Appleton din Marea Britanie, conducătorul echipei responsabile de instrumentul cu raze X. „Tocmai de aceea, micul nostru instrument de pe micuța sondă Smart-1 are șansa să aducă o contribuție importantă la cunoașterea Lunii și a relației sale cu Pământul.”

● Un antidot pentru haos

Oricum s-ar fi format, Luna este destul de mare pentru a acționa ca un stabilizator al Pământului. Importanța sa în această privință a devenit clară la începutul anilor 1990, când oamenii de știință au început să înțeleagă efectele haosului în Sistemul Solar. În acest context, haosul înseamnă modificări aleatoare și imprevizibile în traiectoriile planetelor, datorită unor interacțiuni gravitaționale complicate între acestea.

Nu doar forma unei orbite poate fi afectată de haos, ci și înclinarea axei de rotație a planetei față de orbita sa. Această orientare determină durata și intensitatea anotimpurilor. Astfel, în prezent Polul Nord al Pământului este înclinat cu 23,4 grade către Soare în vara nordică și invers iarna.

Jacques Laskar de la Biroul Longitudinilor (Bureau des Longitudes) din Paris a fost un pionier în studiul haosului planetar. El a descoperit multe efecte fascinante, incluzând posibilitatea ca Mercur să se ciocnească cu Venus într-o zi, și a atras atenția asupra influențelor haosului asupra orientării planetelor. Planetele mari nu prea sunt afectate, dar înclinarea lui Marte, de exemplu, care în prezent este asemănătoare celei a Pământului, poate varia între 0 și 60 de grade. La o înclinare mai mare, verile pe Marte ar fi mult mai călduroase decât acum, iar iernile – teribil de reci. Unele canale de la latitudinile mari de pe această planetă au fost interpretate ca fiind produsul noroaielor apărute la topirea gheții, asemănător celor întâlnite vara în Groenlanda.

„Probabil că toate planetele interioare au cunoscut un puternic episod haotic de-a lungul istoriei lor”, a spus Laskar. „Dacă n-ar fi existat Luna, orientarea axei

Pământului ar fi fost foarte instabilă, ceea ce ar fi avut, fără îndoială, un efect negativ asupra evoluției vieții.”

- *Importante de asemenea pentru originea Pământului sunt COMETELE și ASTEROIZII și MINERALELE ÎN SPAȚIU. Pentru mai multe informații despre evenimentele ce pun în pericol viața, vezi HAOSUL, IMPACTURILE, EXTINCȚIILE și INUNDAȚIILE BAZALTICE. Procesele geofizice apar în MIȘCĂRILE PLĂCILOR, CUTREMURE și CONTINENTE și SUPERCONTINENTE. Pentru procesele de la suprafața Pământului și schimbările climatice, vezi referințele de la SISTEMUL PĂMÂNTULUI.*



PÂNĂ DE CURÂND, botanica nu avea o relație complexă cu zoologia. Este mai interesant să studiezi animalele decât plantele, iar importanța lor pentru biologia umană și pentru medicină este mai evidentă. Faptul că lui Norman Borlaug nu i-a fost acordat Premiul Nobel pentru știință, pentru contribuția sa la salvarea omenirii de foamete prin crearea hibridului de grâu, a constituit un indiciu al ordinii academice superficiale, cu toate că el a obținut Premiul Nobel pentru pace. Pentru Revoluția Verde care a început o dată cu descoperirile lui, vezi **CEREALELE**. Alți biologi au modificat plantele introducând gene noi, cu consecințe controversate – vezi **CULTURILE TRANSGENICE**.

Uriașul salt înainte, realizat prin descifrarea întregului set de gene, genomul, a adus plantele pe picior de egalitate cu animalele, la frontierele descoperirii. Primele care au ieșit din linia de producție au fost genomul unei umile plănuțe și cel al orezului – vezi **ARABIDOPSIS** și **CEREALELE**. O dată cu aceasta, multe aspecte ale vieții plantelor au fost clarificate – vezi **ÎNFLORIREA**, **BOLILE PLANTELOR** și **GENOMURI**.

Plantele se dezvoltă utilizând dioxid de carbon, apă și energie solară. Mecanismul molecular al acestui proces a fost pe deplin elucidat – vezi **FOTOSINTEZA**. Legăturile dintre plante și alte ființe vii și mediul chimic și fizic al Pământului sunt foarte vechi și extinse – vezi **ARBORELE VIEȚII**, **ENZIMELE GLOBALE** și **ALCOOLUL**. Porumbul și arabidopsisul au fost folosite pentru a demonstra mecanismele moleculare ale evoluției – vezi **MONȘTRII OPTIMIȘTI**.

Dezvoltarea vegetației în funcție de anotimpuri are efecte mari asupra concentrației dioxidului de carbon din aer și asupra vieții de pe suprafața planetei – vezi

CICLUL CARBONULUI și BIOSFERA DIN SPAȚIU. Deoarece frunzele plantelor terestre se adaptează schimbării nivelurilor de dioxid de carbon, frunzele fosile pot ajuta la monitorizarea schimbărilor din trecut – *vezi CICLUL CARBONULUI*.

Ecologia vieții plantelor se situează în prim plan printre temerile referitoare la starea planetei, dar probleme fundamentale sunt încă obiectul disputelor – *vezi BIODIVERSITATEA*. Ecologii au devenit pe deplin conștienți de importanța controlului numărului erbivorelor – *vezi PRĂDĂTORI*. Pentru relațiile dintre plante și oameni în cadrul străvechi și tradițional, *vezi ECOLOGIA UMANĂ*. Pentru informații picante despre folosirea plantelor medicinale de către cimpanzei, *vezi COMPORTAMENTUL PRIMATELOR*.



Vino înapoi Brer Wolf, totul e dat uitării

CÂND ASTROFIZICIANUL HERMANN BONDI a acceptat propunerea de a conduce Consiliul de Cercetare a Mediului Natural al Marii Britanii (Natural Environment Research Council) în 1980, proaspăt reorganizat, singura lui obiecție a fost referitor la denumirea acestui for. Cu o perspicacitate în stilul lui Einstein, el a remarcat că „nu există mediu natural în această țară”. În lumina cercetărilor ulterioare, el ar fi putut adăuga că aceasta era de la sine înțeles din moment ce nu existau urși, lupi sau orice alt animal sălbatic feroce în provinciile britanice.

Sălbăticia în starea ei pură se întâlnește foarte rar pe planeta noastră. Când ecologii iau măsuri pentru a proteja, de exemplu, puțurile de turbă inundate sau mlaștinile asanate din estul Angliei, ei luptă pentru un statu-quo creat de om. La fel se întâmplă și cu pădurile secundare din New England, sau cu pășunile sistematic arse din Kansas sau din Kenya. Aproape întreaga suprafață terestră a globului a resimțit efectele acțiunilor umane.

Chiar dacă nu ar fi așa, cine ar putea defini cu certitudine ce ar trebui protejate și protejat, când și Natura joacă feste încontinuu? Acestea sunt evidente de fiecare dată când un vulcan erupe, distrugând vegetația, sau apare brusc din mare sub forma unei insule, creând un nou habitat de viață. Cele mai drastice evenimente sunt schimbările ciclice de climă din seriile actuale ale erelor glaciare. În timp ce ghețarii distrug pădurile de la latitudini și altitudini mari, cantitatea redusă de

precipitații le decimează la tropice. Nivelul mării scade, descoperind mai mult teritoriu la marginile continentelor, doar pentru a crește din nou când gheața se retrage și pentru a lăsa în urmă fostele culmi ca pe niște insule refăcute, cu o viață sălbatică sărăcită.

Când spunem asta, cu siguranță nu o facem ca să scuzăm deteriorările iraționale aduse mediului natural. Perturbările provocate de acțiunile umane și de schimbările naturale sunt de fapt adevărate lecții implacabile despre consecințele neașteptate. Dar acestea complică știința pentru biologii experimentalisti, care trebuie să încerce să înțeleagă cum funcționează comunitățile de plante, de animale și de microbi ca ecosisteme.

Diversele comunități studiate în toată lumea se găsesc în diferite stadii de perturbare. Acesta este unul dintre motivele pentru care principiile fundamentale ale ecologiei sunt în continuare controversate. Este dificil, câteodată chiar nepotrivit, să generalizăm. În unele regiuni precum marile rezervații din Africa sau pădurile din nordul Canadei, felinele mari sau urșii, sau alte animale mari de pradă dețin controlul asupra ecosistemelor. Controlând numărul de animale erbivore, ele împiedică distrugerea excesivă a vegetației.

Acest fenomen se numește reglare de sus în jos, de la cel mai puternic la cel mai slab. Dar se poate întâmpla și invers, de jos în sus, în multe cazuri în care comunitățile de plante au reacționat față de pășunatul excesiv prin înlocuirea speciilor comestibile cu unele otrăvitoare sau, altfel spus, nedigerabile. Într-un alt mod de reacție, animalele erbivore controlează propria lor distrugere a vegetației prin limitarea înmulțirii speciei lor.

● „Ecosistemele au luat-o razna”

Dereglările la scară mare ce apar chiar în timpurile noastre ne oferă posibilitatea să analizăm efectele lor. În Venezuela, stăvilirea râului Caroní pentru a construi un complex hidroelectric a transformat, din 1986 încoace, multe culmi ale unei păduri tropicale uscate de semi-foioase într-un arhipelag de insule formând imensul Lago Guri. În doar câțiva ani, insulele cele mai mici au devenit caricaturi fantastice ale comunităților de plante și de animale de pe uscat și de pe cele mai mari insule.

„Arhipelagul Guri este aproape unic în lume datorită topografiei sale care a creat atât de multe noi insule într-un mediu tropical fertil”, a comentat Mailén Riveros Caballero de la Muzeul de Știință din Caracas. „Am avut noroc, de asemenea, pentru că experții din alte țări au avut ocazia să realizeze studii importante. Am început să facem cercetări imediat după stăvilire, așa că am avut posibilitatea să vedem cum ecosistemele o iau razna – fapt care este regretabil, dar foarte instructiv, fără îndoială.”

Pădurea de pe o mică insulă a fost redusă la un strat de excremente de rozătoare. Alte mici insule au fost cucerite de furnicile consumatoare de frunze. Pe unele insule ceva mai mari, maimuțele au eliminat aproape toate păsările. Dar trăsătura

comună era absența jaguarilor, pumelor, vulturilor răpitori, armodialilor insectivori și a altor animale de pradă pe toate insulele mici, ceea ce a permis rozătoarelor de semințe, furnicilor tăietoare de frunze și maimuțelor să-și facă de cap.

Riveros a făcut ea însăși un studiu asupra rozătoarelor, ale căror dietă și comportament nu erau cunoscute până atunci. „Scopul nostru este să constatăm efectele timpurii ale acestei mari dereglări și să aflăm cum reușesc animalele supraviețuitoare să se adapteze noilor condiții”, a spus ea. „Disparițiile populațiilor aparținând faunei și florei de pe insulele respective sunt bine cunoscute din multe studii insulare, dar acest decor oferă un laborator ecologic ideal pentru a descrie ce se întâmplă.”

Urmărind evenimentele din arhipelagul Guri, echipa multinațională a putut afirma că ecosistemele care au luat-o razna reacționau la eliminarea controlului de sus în jos, de la cel puternic la cel mai slab – fapt care se dovedește a fi mai important. Implicațiile pentru ecologie sunt majore. Animalele mari de pradă au dispărut de curând din cele mai multe regiuni ale lumii, lăsându-le într-o situație „nenaturală” de control, de la cel mai mic la cel mai mare.

Exterminările au început o dată cu răspândirea, în ultimii 50 000 de ani, a vânătorilor înzestrați din specia noastră pe fiecare continent locuibil. Ele au fost accelerate în plus de schimbările climatice și de creșterea nivelului mării după sfârșitul ultimei ere glaciare, în urmă cu aproximativ 11 000 de ani. Multe din schimbările ecologice ce au urmat și disparițiile de specii, care până acum erau puse în seama variațiilor climatice sau a răspândirii agriculturii, este posibil să fi fost datorate în primul rând dispariției prădătoarelor. Recenta protecție a căprioarelor și altor erbivore față de actele umane se datorează sensibilității și nu științei, și a înrăutățit lucrurile pentru ecosistem.

● Este nevoie de resălbăticire

„Interacțiunile cu cele mai temute animale de pradă au loc în cascadă în întregul ecosistem”, a declarat John Terborgh de la Universitatea Duke din Carolina de Nord, conducătorul programului din Venezuela. El a numit situația din arhipelagul Guri o „topire ecologică”. Și nu a întârziat să facă paralele cu regiunea sa natală din estul Statelor Unite, unde vremurile în care Davy Crockett putea să omoare el însuși un urs în pădurea de stejari și hickori sunt demult apuse. Numărul căprioarelor cu coada albă a crescut de aproximativ zece ori, și această specie s-a hrănit nestăvilit cu răsaduri și semințe de stejar și de hickori. Arțarii și tulipierii au umplut golurile.

„Întregul aspect al vegetației predominante din jumătatea estică a continentului este modificat de prea puține animale de pradă”, a afirmat Terborgh. „Stejarii reprezintă specia noastră lemnoasă principală. Valorează miliarde de dolari și îi pierdem pentru că am pierdut lupii și pumele”.

Vor fi în stare generațiile viitoare, mai înțelepte, să repună în drepturi marile animale carnivore, pentru a păstra un mediu cât mai natural? Chiar dacă frica,

invidia sau dorința omului de a se fâli au fost de vină pentru exterminarea lor în multe regiuni, recent situația s-a îmbunătățit în unele privințe. O combinație a creșterii productivității agricole cu diminuarea creșterii populației globului ar putea face posibilă o revenire masivă la condițiile de semisălbăticie în multe regiuni din lume. Turiștii în vehicule rezistente la colți și gheare ar putea plăti pentru ce au făcut alții.

Nu e nevoie de un Jurassic Park pentru a reînvia marile prădătoare. Canadienii, de exemplu, încă trăiesc liniștiți alături de urși și de lupi, cel mai adesea fără niciun pericol. În alte locuri, exploziile populațiilor de căprioare și de iepuri scăpate de prădători s-au dovedit a fi, de obicei, mult mai dăunătoare pentru zonele rurale și suburbane decât orice animal de pradă. În Statele Unite ale Americii, accidentele rutiere datorate căprioarelorucid mult mai mulți oameni decât urșii sau șerpilor cu clopoței, iar bolile transmise de căprioare includ acum și un prion care atacă creierul, similar celui care transmite boala vacii nebune.

Va fi necesară crearea unor rezervații mari și interconectate pentru a oferi marilor prădătoare adăposturi sigure și răspândirea geografică extinsă de care au nevoie. Într-un manifest pentru resălbăticire prin repopularea zonelor cu prădătoare de talie mare, Michael Soulé de la UC Santa Cruz și Reed Noss de la *Wild Earth* (*Pământul sălbatic*) scriau: „Un cinic ar putea descrie resălbăticirea ca pe o obsesie atavică de a recrea Paradisul. Un critic mai compasiv ar putea-o numi romantică. Noi susținem totuși că resălbăticirea este pur realism științific, dacă pornim de la premisa că scopul nostru este să asigurăm integritatea pe termen lung a comunității terestre.”

Acțiunea a fost demarată, deși până acum mai mult pentru conservarea speciilor decât pentru sistemul ecologic. Confruntându-se cu multe discuții aprinse legale și politice, Departamentul de Interne al Statelor Unire a aprobat reintroducerea lupilor în Parcul Național Yellowstone; în 2002 existau deja aproximativ 20 de familii prospere. Atunci când câțiva lupi au pribegit din Finlanda și Rusia în Suedia, guvernul a decis să lase populația să crească până la cel puțin 200 și să vadă ce se întâmplă.

- Pentru mai multe informații despre ecologie, vezi **BIODIVERSITATEA, EVOLUȚIA ECOLOGICĂ și ECOLOGIA UMANĂ**.



De la canibali și vaci nebune la noi tipuri de ereditate și de evoluție

ÎN ȚINUTURILE MUNTOASE ESTICE din Papua-Noua Guinee, populația Fore este răspândită în 160 de sate mici, la aproximativ 400 de kilometri de capitala Port Moresby. În prezent, acești oameni cultivă și fac comerț cu cafea. Terenul accidentat și pădurea deasă i-a izolat în trecut destul de mult astfel încât și-au putut conserva limba și tradițiile străvechi. Iar populația Fore avea un mod preferat de a onora morții. Rudele lor îi mâncau.

O consecință neașteptată a fost „kuru”, termen forez care înseamnă „tremurat”. O dată boala declanșată, pacientul murea în 3–9 luni, prin distrugerea la scară mare a țesutului cerebral. În anii 1950, incidența acestei boli era teribil de ridicată, unul dintr-o sută de oameni contractând „kuru” în fiecare an. Cele mai expuse erau femeile care pregăteau mâncarea pentru ceremoniile funerare canibale și copilașii mici de care acestea aveau grijă. În unele sate, raportul numărului de bărbați supraviețuitori față de cel al femeilor era de trei la unu.

Investigațiile asupra bolii kuru au declanșat un nou val în cercetarea medicală și, după câteva decenii, o revoluție în biologie. Din perspectiva secolului al 21-lea, specialiștii pot afirma că această boală era provocată de un agent infecțios numit prion, forma prescurtată pentru particulă proteinică infecțioasă. O jumătate de secol mai înainte, totul era mult mai învăluit în mister. Chiar și astăzi, multe întrebări referitoare la bolile de acest tip au rămas fără răspuns.

Din punct de vedere medical, descoperirea prionilor a extins lista destul de scurtă a tipurilor cunoscute de agenți care provoacă boli infecțioase – adică bacteriile, virusurile, ciupercile și paraziții. În cadrul mai larg al studiului vieții, prionii reprezintă o metodă, anterior necunoscută, de comunicare a informației în cadrul unui organism și respectiv, între organisme. Biologii au început să se familiarizeze cu consecințele mult mai vaste pe care prionii le au asupra teoriilor lor despre viață și despre evoluția vieții.

● Misterioasele „virusuri lente”

Vizitând bolnavii populației Fore din Papua-Noua Guinee în anul 1957, doi cercetători în medicină, Carleton Gajdusek și Vincent Zigas, și-au dat seama că un agent infecțios care producea kuru trecea din creierele morților în creierele

celor vii. În cursul unor cercetări ulterioare care s-au extins pe 20 de ani, la Institutul Național de Sănătate din Maryland, S.U.A., Gajdusek a descoperit că putea infecta cimpanzeii cu boala kuru. El a studiat, de asemenea, similaritățile acesteia cu alte boli degenerative ale creierului, numite encefalopatii spongiforme.

Acestea cuprindeau obișnuita scrapie la oi și o boală transmisibilă la nurci. Și, de asemenea, boala Creutzfeldt-Jakob la oameni, o boală rară, dar răspândită pe întregul glob, numită astfel după doi medici germani care au descris-o pentru prima dată în anii 1920-1921. În repetate rânduri, Gajdusek a demonstrat că țesutul cerebral infectat putea transmite boala de la o specie la alta de animale de laborator, printre care șoareci și maimuțe.

Agenții responsabili pentru kuru și pentru celelalte boli au rămas necunoscuți. Gajdusek i-a etichetat drept „virusuri lente”, dar nu i-a putut izola niciodată. El a formulat ipoteza că sursa tuturor acestor boli este scrapia oilor. Posibil ca nurca să fi dobândit agentul când s-a hrănit cu hoitul vreunei oi moarte, în timp ce scrapia introdusă prin tăieturi, ca urmare a accidentelor de bucătărie, ar putea fi cauza bolii Creutzfeldt-Jakob la oameni. Epidemia de kuru din Papua-Noua Guinee este cu putință să fi fost provocată, considera el, de un singur caz al bolii Creutzfeldt-Jakob apărut în cadrul populației Fore.

Dar, după cum a recunoscut Gajdusek în anul 1976, acestea erau doar „pure speculații”. Nimeni nu cunoștea originea biologică a agenților infecțioși și nici modul lor de supraviețuire. „Bolile pe care le provoacă nu sunt boli artificiale, produse de cercetători care modifică structurile macromoleculare ale celulelor”, a afirmat Gajdusek. „Ele sunt boli care apar în mod natural, pentru niciuna din ele noi nu cunoaștem modul de răspândire sau de menținere care ar putea explica rezistența lor pe termen lung.”

Din fericire pentru ea, populația Fore a renunțat la canibalism în anul 1959 și, treptat, kuru a dispărut. După 20 de ani au mai apărut cazuri sporadice, indicând perioada de incubare lungă a bolii, dar kuru a fost învinsă prin abandonarea unui obicei străvechi.

● De la oi la vaci și apoi la oameni

La celălalt capăt al lumii, în Anglia erei spațiale, vacile deveneau carnivore. Se puteau obține producții și profituri mai mari dacă erau adăugate proteine animale în hrana animalelor care în mod obișnuit erau vegetariene. Și, în locul oamenilor care tremurau până la moarte în pădurile tropicale, au apărut vacile care se împleticeau până la moarte în regiunile rurale din Sussex.

În anul 1984, cu trei zile înainte de Crăciun, medicul veterinar David Bee a fost chemat la ferma Pitsham de pe strada Chichester din Midhurst. Vaca numărul 133 nu se simțea bine. Spatele îi era arcuit și pierdea în greutate. Pe măsură ce treceau săptămânile, capul animalului a început să tremure, nu mai reușea să-și coordoneze picioarele, iar în luna februarie a murit.

Până vara, ferma pierduse mai multe vaci care prezentaseră aceleași simptome. Printre ipotezele lui Bee se număra intoxicația cu mercur sau cu produse organofosforice, dar, când epidemia s-a încheiat la ferma Pitsham, el a dat uitării acest eveniment. Doi ani mai târziu, a auzit un alt medic veterinar din comitatul vecin Kent care descria simptome similare la vite. După cum și-a amintit Bee: „El a spus la conferință: «Am întâlnit această boală nouă», și a descris-o. Iar eu i-am spus: «Și eu am întâlnit-o», și i-am povestit despre cazurile mele.”

Privind retrospectiv, vaca numărul 133 a fost primul caz cunoscut de boala vacii nebune, sau encefalopatie spongiformă bovină, care s-a răspândit de atunci în rândurile populației bovine din Anglia. Datorită folosirii tot mai extinse a hranei de origine animală pentru animale, cea mai probabilă explicație a originii acestei boli era dobândirea agentului scrapiei de la oi. Numărul vacilor care se îmbolnăveau în fiecare an a atins un maxim de aproximativ 37 000 în 1992.

În pofida tuturor dovezilor transiterii encefalopatiei spongiforme de la o specie la alta, ce au fost strânse de Gajdusek și de alții, experții oficiali asigurau publicul din ce în ce mai sceptic că putea consuma fără grijă carne de vită provenind din Anglia. Chiar și șeful serviciilor de sănătate din Anglia susținea același lucru. Experții se bazau pe analogia cu scrapia, care de obicei nu făcea niciun rău oamenilor care mâncau carne de oaie infectată. Dar aceasta nu era scrapie obișnuită. Agentul infecțios se adaptase deja la vite, consecințele fiind fatale.

În anul 1995, forma umană a bolii vacii nebune, numită varianta bolii Creutzfeldt-Jakob, a făcut primele victime. Estimările despre numărul victimelor umane erau cuprinse între câteva sute și câteva milioane. Industria cărnii de vită din Anglia a intrat într-un declin din care și-a revenit treptat abia la începutul secolului al 21-lea.

● O simplă proteină

Pe atunci, știința fundamentală avansa în ritm rapid. În 1982, înainte să apară boala vacii nebune, cercetătorii americani descoperiseră că agentul scrapiei era un prion. Implicit, toate bolile de tip kuru aveau o cauză similară. Povestea prionilor începuse cu zece ani mai înainte, când Stanely Prusiner de la UC San Francisco a fost tulburat de moartea unui pacient nebun ce suferea de boala Creutzfeldt-Jakob. El a început să studieze toată literatura științifică legată de acest subiect.

„Uimitoarele proprietăți ale „virusului lent”, presupusul agent cauzativ, m-au captivat,” și-a amintit Prusiner mai târziu, „și am început să cred că definirea structurii moleculare a acestui agent enigmatic ar putea fi un minunat proiect de cercetare. Cu cât citeam mai multe despre boala Creutzfeldt-Jakob și bolile înrudite – kuru, la populația Fore din Noua Guinee și scrapia ovinelor – eram tot mai captivat.”

Când a început să cerceteze virusul scrapiei, Prusiner a rămas perplex când metodele sale pentru separarea și caracterizarea lui indicau prezența doar a unei

proteine. Nu exista nici urmă din materialul genetic, acidul nucleic, care ar trebui să fie prezent într-un virus. În 1982 el a raportat rezultatele pe care le obținuse până atunci și a folosit pentru prima dată denumirea de prion pentru proteina care cauzează scrapia. Unii specialiști au fost sceptici și chiar iritați de această erezie, dar până și eforturile lor de a găsi acidul nucleic au eșuat.

Punctul său de vedere a fost consolidat atunci când împreună cu echipa sa Prusiner a reușit să izoleze proteina prionică. Era mult mai mică decât orice virus. Doi ani mai târziu, Leroy Hood de la Caltech a reușit să determine cei 15 aminoacizi care alcătuiau un capăt al lanțului proteic. Ulterior biologia moleculară a intrat în acțiune pentru a izola gena care codifică formarea proteinei prionice și pentru a detecta posibile schimbări în genă și în proteină. S-a constatat că o formă inofensivă a proteinei prionice este prezentă la toate animalele sănătoase.

Prusiner și o echipă tot mai mare de colaboratori au descoperit proteina prionică normală în multe țesuturi, printre care celulele albe din sânge și suprafețele celulelor nervoase din creier. În anumite cazuri speciale incluzând o formă ereditară a bolii Creutzfeldt-Jakob, o genă mutantă produce o proteină mutantă, care este considerată mult mai susceptibilă de o pliere greșită – acesta fiind modul în care apare forma patogenă.

● Infiltrarea unui obicei prost

„Proteina trece într-o stare pe care celula nu o poate degrada”, a afirmat Prusiner. Acest mod de a acționa specific prionului s-a dovedit a fi o descoperire la fel de senzatională ca și identificarea inițială a proteinei. La fel ca alte proteine nou formate ce apar din fabricile celulei vii, prionul se pliază într-o anumită formă, necesară funcționării sale normale. În forma ei patogenă, proteina este parțial desfăcută. Atunci poate forma agregate care deteriorează țesutul nervos.

Cum se poate replica o simplă proteină? Biologii moleculari sunt obișnuiți să descifreze codul genetic al acidului nucleic și să observe cum acesta comandă formarea unei proteine. Pentru ei, metoda prin care un prion infecțios își comunică instrucțiunile în vederea replicării, provocând astfel o boală, pare bizară.

Procesul continuu al sintezei și al îndepărtării proteinelor prionice inofensive menține stocul de molecule normale. Dar dacă una dintre ele se pliază greșit în forma patogenă, poate apoi recruta molecule normale care se vor plia la fel ca ea. Prostul obicei începe să se propage. Fiecare nouă moleculă pliată greșit devine un instructor nou, astfel încât producerea prionilor dăunători se accelerează, într-o reacție în lanț.

Chiar și așa procesul este foarte lent, astfel explicându-se lunile sau anii care trec de la infectare și până la declanșarea bolii prionice. Cu toate acestea, procesul e inexorabil. Sistemul imunitar, care în mod normal apără organismul împotriva bolilor, nu poate distinge forma nocivă a proteinei de forma obișnuită. Țesutul nervos afectat conține agregate proteice lungi și subțiri, numite fibrile, construite din numeroase molecule prionice diforme indestructibile.

● O amenințare omniprezentă

Când cercetătorii care studiau prionii au discutat cu colegi de-ai lor care se ocupau de alte tulburări, și-au dat seama că ajungeau la un numitor comun, comportarea greșită a proteinelor. În boala Alzheimer, afecțiune a creierului ce provoacă pierderi de memorie, apar concentrări de proteine ce se autoperpetuează, asemănătoare cu cele din bolile prionice. Multe alte afecțiuni presupun existența agregatelor proteice.

Biochimiștii de la Florența, în colaborare cu chimiștii de la Cambridge, au descoperit că puteau produce cu ușurință fibrile asemănătoare celor întâlnite în bolile prionice, din proteine obișnuite luate dintr-o bacterie și un mamifer, care nu au fost niciodată implicate în vreo boală. Monica Bucciantini, Elisa Giannoni, Fabrizio Chiti și colaboratorii lor au testat efectele fibrilelor rezultate asupra celulelor vii. Fibrilele finale erau inofensive, însă aglomerările de proteine dintr-un stadiu timpuriu al formării acestora omorau celulele. Echipa a concluzionat că „evitarea producerii aglomerărilor de proteine este crucială pentru menținerea funcției biologice”.

În lumea vie, amenințarea proteinelor „greșite” este omniprezentă. Celulele folosesc proteine speciale numite chaperoni, doar pentru a se asigura că celelalte proteine se pliază și se formează corect. Iar distrugerea și reînnoirea continuă a proteinelor în interiorul celulelor, care poate părea uneori o risipă, apare acum ca o precauție necesară împotriva acumulării erorilor.

Așa stând lucrurile, prionii înșiși sunt extrem de bizari. Când cercetătorii inactivează gena proteinei prionice la șoareci, animalele sunt sănătoase. Ele par întrutotul normale, cu diferența că sunt complet rezistente la boala prionică. Și totuși, proteina prionică trebuie să aibă o funcție. Este greu de crezut că o asemenea proteină ar supraviețui în toate speciile animale, dacă nu ar face nimic altceva decât să instaleze o periculoasă bombă cu ceas.

O altă caracteristică a prionilor este aceea că anumite conformații pot fi moștenite. Proteinele prionice pot adopta diferite configurații fizice care se autoperpetuează. Chiar dacă genele codifică formarea prionilor normali, inofensivi, urmașii pot dobândi forma care provoacă boala de la mamele lor. Transmiterea de la vacă la vițel a fost una dintre problemele cu care s-au confruntat fermierii englezi când au vrut să stopeze epidemia de boala vacii nebune. Prin urmare, acesta este un tip de ereditate care nu se încadrează în cursul normal al geneticii.

● La ce folosesc prionii?

Susan Lindquist de la Chicago, care s-a preocupat îndeaproape cu lămurirea misterului bolii vacii nebune, a reflectat asupra înțelesului biologic general al prionilor. A găsit un răspuns în drojdia de bere, *Saccharomyces cerevisiae*. Începând cu anul 1994, Reed Wickner de la Institutul Național de Sănătate din

Maryland, S.U.A., a identificat prioni în această drojdie și a descris modurile lor de transmitere.

În anul 2000, Lindquist și colaboratorii săi au demonstrat că un prion este implicat în translația informației genetice, în timpul producerii altor proteine necesare celulelor drojdiei. Când prionii adoptă forma „greșită”, fidelitatea translației este redusă. De obicei acest lucru este dăunător indivizilor, dar nu în mod necesar și pentru colonia de drojdie ca întreg.

Erorile care apar în translația informației genetice extind repertoriul proteinelor active – enzimele – din colonie. Iar unele dintre aceste enzime permit drojdiei să supraviețuiască atunci când cercetătorii cultivă în ea îngrășămintele sau otrăvuri neobișnuite. Echipa de la Chicago a confirmat acest fapt prin diferite teste, dintre care unele au produs colonii de drojdie care arătau foarte diferit față de drojdia de bere obișnuită.

Astfel, în circumstanțe potrivnice, prionii eliberează capacitățile ascunse în genele drojdiei care nu se manifestă la drojdia obișnuită în condiții normale. De fapt, drojdia evoluează mult mai repede decât se credea că este posibil. Această descoperire era în concordanță cu rezultatele laboratorului din Chicago referitoare la proteinele implicate în reacțiile la stres, în cazul animalelor și plantelor. Consecințele pentru teoriile evoluției au fost uluitoare.

Viziunea lui Lindquist s-a lărgit și mai mult când s-a mutat la Institutul Whitehead din Massachusetts. Acolo interesul ei față de prioni, ca structuri moleculare care se autoasamblează și se autoperpetuează, a crescut. Aștepta cu nerăbdare să colaboreze cu fizicieni și chimiști la inventarea unor noi materiale cu ajutorul fibrilelor, formate prin gruparea proteinelor prionice.

„Când începi să cercetezi procesele biologice tot mai în detaliu, este cu adevărat minunat și extraordinar să vezi cât de bine lucrează viața”, a afirmat Lindquist în 2002. „Biologia explodează acolo. Se atinge un nivel la care îți pui întrebări pe care acum un an nu puteai nici să le formulezi.”

În anul următor, echipa lui Lindquist a realizat primele fire electrice din prioni, învelindu-i în aur. Erau de o mie de ori mai subțiri decât firele de păr uman.

- Pentru mai multe detalii despre importanța prionilor în cercetarea evoluționistă, vezi **MONȘTRII OPTIMIȘTI**. Pentru un subiect înrudit, vezi **FORMELE PROTEINELOR**.



PROTEOME

Corpul de balet molecular al ființelor vii

VÂRFUL MATTERHORN, supranumit și regina Alpilor, împodobește logoul Swiss-Prot, primul proiect de bioinformatică din lume, deși unii pedanți spun că Mont Blanc, regele Alpilor, este vârful care poate fi văzut din Geneva, locul unde s-a născut proiectul și unde este încă în desfășurare. Swiss-Prot trece în revistă și prezintă succint, în format electronic, toate moleculele proteice ale căror compoziții sunt cunoscute oamenilor de știință.

Un student la biochimie, pasionat de calculatoare, de la Universitatea din Geneva, Amos Bairoch, a inițiat Swiss-Prot în 1986. El a creat un program de calculator care analizează genele și proteinele. Acest program a fost vândut comunității ce se ocupa de domeniul științelor vieții de către o companie americană, Intelligenetics. Pe atunci, când oamenii de știință nu începuseră încă să folosească calculatoarele și corespondența prin Internet în mod curent, crearea catalogului proteinelor presupunea o muncă redacțională titanică. Totuși lui Bairoch i se părea o investiție necesară în viitor. Faptele au confirmat că a avut dreptate.

În timp ce genele realizează compoziția muzicală și coregrafia pentru dansul molecular al vieții, proteinele sunt *corpul de balet*. Ele apar mereu, interpretează roluri catalitice, structurale, mecanice sau de semnalizare, și părăsesc scena pentru a fi reciclate. Vizionarea întregului spectacol în premieră este obiectivul principal al științei secolului al 21-lea.

Moleculele proteice sunt în primul rând alcătuite din lanțuri lungi de subunități – aminoacizi – ce formează o anumită secvență. În 1943, un tânăr biochimist de la Cambridge, Fred Sanger, a început să caute secvența insulinei, o proteină importantă din punct de vedere medical, implicată în metabolismul zahărului. Era o moleculă destul de mică, cu doar 51 de aminoacizi, dar nimeni nu mai realizase analiza completă a unei proteine până atunci și a trebuit să-și improvizeze propriile metode. Această sarcină a devenit ceva banal peste o jumătate de secol, însă lui Sanger i-au trebuit 12 ani pentru a o realiza și i-a adus primul din cele două Premii Nobel.

În 1950, Pehr Edman din Suedia a descoperit cum să degradeze o proteină pas cu pas pentru a putea descifra cu ușurință secvența aminoacizilor. Această descoperire a accelerat procesul descifrării și, pe la mijlocul anilor 1980, când

Bairoch a demarat Swiss-Prot, structurile a aproximativ 4 000 de proteine sau fragmente de proteine erau deja cunoscute. Altele noi erau adăugate pe măsură ce deveneau cunoscute. În scurt timp, proiectul s-a unit cu o inițiativă asemănătoare a Laboratorului European de Biologie Moleculară de la Heidelberg și Swiss-Prot a devenit standardul industrial pentru bioinformatică în domeniul cercetării proteinelor.

„În anii 1980, majoritatea laboratoarelor erau implicate în studiul unei singure proteine sau al unui mic grup de proteine”, povestea Bairoch în 2002. „Era necesară o bază de date bine structurată care să catalogheze ceea ce era cunoscut și care să permită realizarea analizelor comparative. Astăzi, noile secvențe proteice apar într-un ritm amețitor datorită numeroaselor proiecte de secvențiere a genomurilor. Pe de o parte, o asemenea avalanșă de date face ca realizarea bazelor de date ale proteinelor să fie tot mai dificilă, pe de altă parte, existența lor e tot mai crucială în activitatea oamenilor de știință ce studiază viața, folosind cele mai noi date.”

● Ce au realizat australienii

Pentru a ne face o imagine asupra problemei proteinelor, să luăm în considerare niște umile bacterii. Ele se numesc *Mycoplasma genitalium* și un milion de exemplare ar ocupa abia gămălia unui ac. După cum indică și numele, ele apar, printre alte locuri, în zona organelor genitale la om. Par inofensive, și i-au captivat pe savanții care caută să înțeleagă cum poate fi creată viața în mod artificial, deoarece ele se numără printre cele mai mici creaturi cunoscute care se pot reproduce și pot trăi independent, fără niciun ajutor de la alte celule.

Vreți să le copiați? Componentele lui *genitalium* sunt cunoscute, cel puțin în linii mari. În fiecare celulă bacteriană veți găsi 400 de milioane de molecule de apă și o moleculă de material genetic, alcătuită din acid nucleic ADN. Ea are 480 de gene, sau puțin mai mult decât un procent din numărul de gene pe care îl au oamenii. În fiecare clipă, aproximativ 10 000 de copii ale genelor se deplasează prin celulă, sub forma unor secvențe de acid nucleic de alt tip, ARN. Intrând în mașinile moleculare numite ribozomi, din care *genitalium* are aproape 400, secvențele de ARN comandă producerea proteinelor.

Un recensământ complet al moleculelor proteice individuale din *genitalium* ar pune în evidență un total de 50 000. La începuturile biologiei moleculare, se credea că o genă determină producerea unei proteine și că proteina ar putea fi cunoscută prin citirea genei. Trei litere din subunități ADN codifică într-adevăr introducerea unui anumit tip de subunitate – sau aminoacid – într-un lanț proteic. Deci orice proteină formată prin traducerea instrucțiunilor unei anumite gene era de așteptat să aibă aceeași structură chimică, aceeași formă și aceeași funcție.

Viața nu este atât de simplă. S-a descoperit că modificările posttranslationale, de diferite tipuri, provoacă modificări cruciale în proteinele ce ies din mașinile

ribozomale. Prin urmare, există mult mai multe proteine decât gene, și pentru a afla care sunt acestea singurul mod este identificarea lor una câte una.

În 1995, microbiologii de la Universitatea din Sydney au investigat proteinele lui *genitalium*. Ei au folosit numeroase tehnici de screening pentru a identifica 73 de proteine și au verificat dacă acestea erau menționate în cataloagele proteinelor altor organisme. Aceasta s-a dovedit o contribuție folositoare cunoașterii în general, fără a fi ceva remarcabil, însă filozofia cercetării a numit-o metaforic aprinderea unei torțe pe care întreaga lume ar trebui s-o urmeze.

Pe atunci, cuvântul-cheie printre biologii moleculari era genomul, semnificând setul complet de gene dintr-un organism. La mijlocul anilor 1990, proiectul genomului era încă în plină desfășurare. Citirea miilor de gene ale întregului genom uman părea deocamdată un vis destul de îndepărtat, dar apăruseră primele genomuri complete ale unor bacterii, printre care mica *genitalium* cu cele 480 de gene ale sale.

Biologii se așteptau la o posibilă reacție de genul „Ei și?” față de finalizarea proiectelor genomurilor. Semnificația tuturor acestor gene va fi complet înțeleasă numai după ce proteinele corespunzătoare vor fi fost identificate, iar structurile, funcțiile și formele lor descoperite. Unii au numit această nouă obiectiv „genomica funcțională”, însă microbiologii australieni au folosit un termen nou, cel de proteom, reprezentând întregul set de proteine dintr-o celulă vie sau dintr-un organism viu. De asemenea, ei au creionat natura programului de cercetare necesar proteomicii.

„Aici, caracterizarea produselor genelor se bazează pe cele mai rapide și mai economice tehnologii folosite într-o primă fază, pentru a determina dacă un număr mare de proteine este deja prezent în ... bazele de date”, scriau ei. „Screeningul inițial, care se pretează la automatizare și robotică, poate fi urmat apoi de proceduri mai costisitoare sau care cer timp, atunci când e necesar.”

La jumătatea anului 1996, Unitatea pentru Analiza Proteomului din Australia funcționa la Universitatea Macquarie din Sydney, ca Centru Național Principal de Cercetare pentru crearea primului laborator consacrat proteomului, din întreaga lume. Oamenii de știință au venit din toate colțurile lumii pentru a vedea ce au realizat australienii. Au găsit un mic grup de cercetători înconjurați, precum copiii în ziua de Crăciun, de cele mai moderne jucării științifice, vorbind în limbaj tehnic despre geluri bidimensionale și spectrometre de masă cu timp de tranzit și desorbție laser care puteau identifica mii de proteine pe săptămână.

● Un cuvânt scontabil

Instrumentele proteomicii fuseseră dezvoltate în deceniile anterioare. Într-o lucrare din 1975, Patrick O'Farrell de la Universitatea din Colorado a identificat 1 100 de proteine la o bacterie, *Escherichia coli*, folosind o nouă metodă numită electroforeză bidimensională. Aceasta sortează proteinele, mai întâi după sarcinile lor electrice și apoi după mărime.

Un câmp electric conduce proteinele de-a lungul unei piste strâmte gelatinoase, special pregătită astfel încât aciditatea ei să se modifice pe parcurs. În cele din urmă, fiecare proteină ajunge la un punct unde aciditatea locală îi anulează sarcina electrică și astfel se oprește. Acest proces poartă numele de focalizare izoelectrică. Punctele finale devin apoi puncte inițiale pe o pistă gelatinoasă largă, iar proteinele pornesc într-o altă direcție, proteinele mai mici strecurându-se prin substanța gelatinoasă mult mai repede decât cele mai mari. Astfel, fiecare tip de proteină ajunge într-un anumit loc, diferit de toate celelalte.

Identificarea sau caracterizarea proteinelor din fiecare loc a constituit o problemă pentru cercetători. Instrumentele de secvențiere de înaltă tehnologie funcționau încă pe principiul lui Edman, dar la începutul anilor 1990 a apărut posibilitatea realizării unor măsurători precise ale maselor fragmentelor de proteine cu ajutorul spectrometrelor de masă. Acestea sunt niște instrumente care măsoară masele atomilor și moleculelor încărcate electric după traiectoriile și vitezele lor prin vid, sub influența câmpurilor electrice și magnetice. În tehnica de operare, numită electrospray, fragmentele de proteine încărcate electric sunt produse de apa care le conține, precum parfumul de lichidul pulverizat.

Inovațiile și automatizarea analizei proteinelor avansau atunci atât de rapid încât, în momentul în care metoda ajungea să fie predată studenților, era probabil pe punctul de a ieși din uz. Printre noile artificii care continuau să apară era și o modalitate inteligentă de a selecta perechile de proteine potrivite pentru a interacționa, folosind celulele drojdiei. A rămas neschimbată însă dependența totală a specialiștilor în proteomică de bazele de date care conțineau proteinele cunoscute.

Dacă fiecare tip de proteină din fiecare creatură, de la virusuri la ființele umane, ar trebui analizată mereu ori de câte ori apare, s-ar pierde mult timpul și costurile ar fi îngrozitor de mari. După cum au notat oamenii de știință australieni în planul lor de cercetare proteomică din anul 1995, ar trebui să se înceapă verificând mai întâi cataloagele existente. Pentru aceasta, s-au întors la Bairoch și la Swiss-Prot.

Institutul pentru Analiza Proteomului din Australia (Australian Proteome Analysis Facility – APAF) a reușit să funcționeze independent din punct de vedere financiar timp de câțiva ani de la înființare, și de atunci a fost imitat la scară largă. „S-au făcut investiții uriașe pentru realizarea unor institute pentru analiza proteomului în SUA, Canada, Europa și în alte câteva locuri din Asia de Sud-Est”, a precizat în 2001 directorul Gary Cobon. „E un adevărat noroc faptul că APAF a început mai înainte cu patru ani și e complet operațional, putând astfel concura cu aceste organizații recent înființate.”

Proteomica a devenit un cuvânt scontabil pentru investitori în societățile biotehnologice. Medicamentele au aproape întotdeauna drept ținte proteinele, iar noile aplicații pot fi patentate. Unul din primele patente ale Institutului Macquarie a fost o metodă de diagnosticare a cancerului prin identificarea, în lacrimile umane, a unei proteine nou descoperite numită lacriglobina.

● Tablourile pointiliste ale mecanismului proteinei

Iată situația de la începutul secolului al 21-lea. Biologii au genele mai mult sau mai puțin sub control, genomurile fiind complet descifrate pentru un număr tot mai mare de organisme. Însă proteomica este o problemă mult mai complicată. Departe de a putea vedea baletul proteinelor propriu-zis, oamenii de știință nu știu nici măcar câți dansatori sunt. Ei încă mai au de descoperit sintaxa modificărilor posttranslaționale care creează un număr mare de proteine diferite dintr-o singură genă.

Formele proteinelor au, de asemenea, importanța lor. Genele sunt mesaje unidimensionale, precum banda de telegraf a vechilor telegrame, însă proteinele sunt practic mecanisme tridimensionale. Secvențele chimice din lanțurile de aminoacizi sunt utile pentru compararea proteinelor între ele, dar altfel semnificația lor biologică este limitată. Abia atunci când vezi cum se pliază lanțul proteic începi să înțelegi cum funcționează. Acesta este un alt domeniu de cercetare foarte important.

Cele mai fascinante sunt intrările, execuțiile și ieșirile dansatorilor proteici. O moleculă declanșează activitatea alteia. Acțiuni-cheie pot implica apariții extrem de scurte ale unor proteine greu detectabile. Un sistem de codificare poate direcționa și redirecționa o proteină către diferite părți ale celulei, după necesități.

Înainte de toate, comportamentul proteinei răspunde exigențelor vieții reale. Coregrafia genetică nu e autoritară, specificând ce urmează să se petreacă cu exactitate doar de la un moment la altul. Ea învață celulele numeroase figuri de balet, însă dansatorii improvizează. Orice perechi s-ar realiza, conform libretului, între diferite proteine și diferite gene, dansul trebuie să fie în continuă schimbare, ca răspuns la evenimentele ce au loc în interiorul celulei, în interiorul întregului organism sau în mediul său înconjurător.

Cu alte cuvinte, dacă s-ar putea defini efectiv întreaga activitate a tuturor proteinelor clipă de clipă, pe tot parcursul dezvoltării și vieții fiecărui organism, am cunoaște însăși viața destul de bine. Numai un biolog pripit ar putea considera aceasta drept o perspectivă îndepărtată. Acestea fiind zise, proteomica este fără îndoială un indicator ce arată direcția în care se îndreaptă acum mulți biologi moleculari, iar instrumentele automatizate ce se dezvoltă rapid vor accelera procesul. Apariția unor descoperiri surprinzătoare este certă, mai ales când tehnicile ingenioase economisesc timp.

O echipă de la Laboratorul European de Biologie Moleculară, condusă de Bertrand Séraphin, a descoperit cum să extragă proteinele din celulele vii, nu doar singure sau perechi, ci complexe întregi de proteine care funcționează precum niște mașini biochimice. Aceasta se petrecea în anul 2000. Colegii au creat apoi „momeala” pentru a pescui mai multe complexe. O companie nou fondată în cadrul laboratoarelor campusului Heidelberg, numită CellZome, a furnizat la scară industrială spectrometrele de masă necesare identificării componentelor.

Curând au descoperit că zeci de complexe diferite folosesc multe componente asemănătoare, ceea ce ar însemna că proteinele individuale pot avea mai multe funcții decât credeau oamenii de știință. S-a descoperit, de asemenea, că mecanismele mici pot fi incluse într-un complex mult mai mare care îndeplinește o anumită funcție și care apoi este demontat. Compoziția unui complex nu este întotdeauna aceeași, ceea ce înseamnă că celulele vii se mulțumesc să improvizeze puțin.

În urma celei mai mari analize a complexelor proteice realizată până atunci, referitoare la o treime din întregul genom al drojdiei de bere *Sacharromyces cerevisiae*, Anne-Claude Gavin de la CellZome și colegii ei de la Heidelberg au anunțat descoperirea a 134 de complexe multiproteice necunoscute biochimistilor. Chiar și în alte 92 de complexe care puteau fi recunoscute, se aflau aproape întotdeauna proteine ascunse, despre care nimeni nu știa că sunt acolo. În medie, complexele conțineau 12 proteine, dar cel mai mare care a fost analizat avea 83. Cel mai interesant pentru specialiști a fost tabloul vieții celulei care a rezultat când au schițat pe o hartă toate mecanismele moleculare.

„Poți privi complexele prin prisma componentelor lor, sau prin prisma funcțiilor lor celulare cunoscute”, a spus directorul științific al companiei CellZome, Giulio Superti-Furga. „Vei obține o imagine cu un nivel al organizării superior față de tot ceea ce fusese observat anterior. E într-un fel ca și când privim un tablou pointilist francez. Dacă stai prea aproape, datorită tehnicii picturale, vezi doar puncte colorate izolate unele de altele. Pe măsură ce te depărtezi, începi să vezi o imagine coerentă.”

● Dicționarul vieții

Bazele de date ale proteinelor cresc și o dată cu ele și importanța lor. În 1998, Bairoch din Geneva a format împreună cu alți specialiști din țara sa natală Institutul Elvețian de Bioinformatică. Până în 2001, Swiss-Prot a combinat rezultatele analizelor a nu mai puțin de 150 000 de oameni de știință din întreaga lume, pentru a furniza detalii despre mai mult de 100 000 de secvențe de aminoacizi, de la aproximativ 7 000 de specii. Acestea cuprindeau aproape 8 000 de secvențe de la om și aproximativ 30 000 de variații importante.

O Inițiativă a Proteomicii Umane a început în 2000 ca un proiect comun al Institutului Elvețian de Bioinformatică și al Institutului European de Bioinformatică din Hinxton, Anglia, care este o filială a Laboratorului European de Biologie Moleculară. Corpul uman conține aproximativ 30 000 de gene, dar numărul proteinelor poate fi de cel puțin zece ori mai mare. Una dintre problemele specialiștilor în proteomică este să determine care este acest număr.

Oamenii de știință care au instituit Inițiativa Proteomicii Umane au făcut o paralelă cu crearea *Dicționarului Englez Oxford* (*Oxford English Dictionary – OED*) din secolul al 19-lea. Ei și-au amintit cum echipa locală a cerut vorbitorilor de

limba engleză din toată lumea să prezinte citate care să ilustreze utilizările anumitor cuvinte și modul în care au evoluat acestea de-a lungul timpului. „Astăzi am putea folosi apelul lor original, precum și descrierea scopului lor aproape cuvânt cu cuvânt, înlocuind doar «limba engleză» cu «proteomul uman».”

Dacă această paralelă este adecvată, ea ne avertizează că aventura proteomică nu se va încheia niciodată. Munca inițială la *OED* a durat mult mai mult decât s-a preconizat, din 1857 când s-a început, până la finalizarea primei ediții în 1928. Limba engleză era mai bogată și mai subtilă decât și-ar fi putut închipui vreodată orice vorbitor sau comisie de vorbitori. Va fi o dezamăgire dacă limbajul proteinelor noastre, cu toate dialectele sale, nu se va dovedi mai bogat.

OED necesită o actualizare permanentă, deoarece limbajul uman evoluează rapid. Proteomul uman și proteomele altor specii vor pune în evidență mesagerii moleculari ai evoluției. Resursele de proteine ale indivizilor, populațiilor și speciilor de organisme sunt testate de către provocările și oportunitățile circumstanțiale, iar cele care corespund în mod fluent vor prospera. Din această perspectivă, supunerea la presiunile vieții cum ar fi schimbările climatei sunt teste de elocvență biomoleculară.

- Pentru cercetarea structurilor tridimensionale ale proteinelor, vezi **FORMELE PROTEINELOR**. Alte subiecte înrudite sunt **ENZIMELE GLOBALE**, **GENOMURI**, **EVOLUȚIA MOLECULELOR** și **TRAFICUL CELULAR**.



RADIAȚIA COSMICĂ

De unde provin cele mai energice particule?

ÎN APROPIEREA ANZILOR, deasupra pampasului arid al provinciei argentinienne Mendoza, o particulă subatomică de mare energie venind din adâncurile Universului și-a făcut apariția în atmosferă, în primele ore ale zilei de 8 decembrie 2001. Un telescop special – denumit „fly’s eye” datorită numeroșilor săi detectori – a înregistrat lumină albastră străbătând cerul. Lumina provenea de la ploaia de particule noi, create în urma impactului. Îndreptându-se spre Pământ, acestea făceau să strălucească moleculele de azot. Când ajungeau la sol, unele dintre particule erau înregistrate de detectoarele larg răspândite prin Pampa Amarilla, asemenea unor uriașe flori de nalbă mare, spre nedumerirea vacilor care pășteau acolo.

În acel moment, Observatorul Pierre Auger plasa Argentina în prim-planul fizicii și astronomiei, înregistrând pentru prima dată un flux de raze cosmice, cu ajutorul a două tipuri de detectoare. La observator lucrau 250 de cercetători din 15 țări. Acesta se afla în primele etape ale construcției sale, însă unul dintre avantajele studiului radiației cosmice de energie ultraînaltă era faptul că aceasta putea fi înregistrată doar cu o parte din detectoarele instalate.

Telescopul „fly’s eye” care detectase fluorescența de pe cer era primul dintre cele 24 astfel de camere fotografice. Dintre cele 1 600 de detectoare de la sol care trebuiau puse în funcțiune până în 2005, doar câteva zeci erau operaționale la sfârșitul anului 2001. Când toate vor fi funcționale, poziționate la distanțe de 1,5 kilometri, detectoarele vor acoperi o zonă de 3 000 de kilometri pătrați. Observatorul Auger trebuia să fie atât de imens, deoarece evenimentele pe care urma să le monitorizeze au loc foarte rar.

„Studiem cea mai energetică formă de radiație din Univers”, declara Alberto Etchegoyen de la Centro Atómico Constituyentes din Buenos Aires. „Probabil că acestea provin din apropierea unei gigantice găuri negre din centrul unei alte galaxii. Sau ne-ar putea conduce înapoi chiar la Big Bang, ca sursă de superparticule care abia de curând s-au transformat în materie detectabilă.”

Tot în curs de construcție, programat să fie finalizat în 2007, era și cel mai puternic accelerator de particule subatomice din lume: Large Hadron Collider (LHC) de la CERN, în Geneva. În comparație cu radiația cosmică, acceleratorul urma să creeze particule cu o energie corespunzând unei tensiuni de 7 000 de miliarde de

volți, asemănătoare celor eliberate în timpul Big Bang-ului, când tânărul Univers, aflat în plin proces de răcire, avea încă o temperatură de 10 milioane de miliarde de grade. (Scuze pentru numerele gigantice, dar asta înseamnă fizica energiilor înalte.) Observatorul Auger urma să identifice particule din radiația cosmică de 10 milioane de ori mai energice, care corespund unei etape mai timpurii a Big Bang-ului, încă și mai fierbinte.

Ce ascunde atunci Mama Natură în alambicul ei alchimic? Analizând multe particule de energii ultraînalte în căutarea răspunsurilor, echipa de la Observatorul Auger urmărea să redobândească ceva din gloria începutului secolului al 20-lea, când radiația cosmică era vârful de lance al fizicii subatomice.

● În baloane și pe vârfuri de munte

Descoperirea razelor cosmice este rezumată într-o inscripție de la un centru științific din Erice, Sicilia:

Aici, în labirintul de la Erice,

Radiația cosmică e foarte la modă

Doar pentru că un tip pe nume Hess

A călătorit cu balonul și a descoperit mai multe, nu mai puține.

Cu alte cuvinte, mai multe particule subatomice. În anii 1911–1912, tânărul fizician austriac Victor Hess făcea ascensiuni în balonul cu aer cald, ajungând în final la altitudini destul de riscante, de 5 000 de metri. El căuta să evite radioactivitatea naturală de la sol, dar cu cât urca mai sus, cu atât mai rapid se descărca demodatul dar eficientul său detector de radiații ionizante, un electroscoap cu foiță de aur. Oamenii de știință eminenți au ironizat la început concluzia lui Hess referitoare la radiația de un anumit tip care provenea din cer, însă treptat dovezile tot mai numeroase i-au determinat să-și modifice atitudinea.

Cu un scepticism asemănător au fost întâmpinate și următoarele progrese în studiul radiației cosmice, dar numai din răz bunare. Cea mai evidentă întrebare: „de unde vin acestea?”, rămânea fără răspuns, dar nu încăpea îndoială că radiația cosmică ne conectează intim cu Universul în totalitatea lui.

Însoțitoarele de bord au concediu în toată perioada de graviditate, deoarece se știe că radiația cosmică poate afecta dezvoltarea fătului. Chiar și la nivelul mării, corpul nostru este asaltat de mii de particule ale acestei radiații, în fiecare secundă. Deși se amestecă cu fundalul radioactivității naturale de care încerca Hess să scape, acest tip de radiație contribuie la mutațiile genetice care impulsionează procesul de evoluție – cu prețul unor malformații ocazionale sau chiar al cancerului la unii indivizi. Radiația cosmică poate genera erori sau defecțiuni ale calculatoarelor. Se pare că are și un efect asupra vremii, ajutând la formarea norilor.

Până în anii 1950, cercetarea radiației cosmice a fost principala sursă de informații asupra constituenților de bază ai materiei. Camere cu ceață, detectoare

Geiger și cu emulsii fotografice au fost amplasate la observatoarele din vârfurile munților sau pe baloane fără echipaj uman. Prima fărâmbă cunoscută de antimaterie a fost descoperită când un antielectron (pozitron) s-a deplasat în direcția greșită, într-o cameră cu ceață plasată în câmp magnetic. Alte descoperiri remarcabile făcute cu ajutorul radiației cosmice au fost electronii grei (miuonii), mezonii și ciudatele rude ale protonului, care au deschis calea spre eventuala identificare a quarcilor ca principali componenți ai materiei.

Acceleratoarele de particule de puteri tot mai mari i-au ademenit pe fizicieni să părăsească laboratoarele atmosferice. Producând fascicule de particule energetice mult mai intense, mai previzibile și mai controlabile decât radiația cosmică, acceleratoarele au retrogradat, la sfârșitul anilor 1960, radiația cosmică într-un rol minor în fizica particulelor. Doar astronomii mai erau interesați de aceasta.

Particulele subatomice din radiația cosmică detectate la nivelul solului au timp de viață mici, de aceea ele nu pot fi considerate intrușii veniți din spațiu. Radiația cosmică originală este formată din nuclee atomice care au călătorit prin Calea Lactee, cu viteze foarte mari, timp de milioane de ani. Acestea străpung barierele câmpurilor magnetice ale Pământului și Soarelui și se ciocnesc cu nucleele atomilor aflați în atmosfera superioară. Impacturile lor produc ploii de diferite particule care se îndreaptă cu repeziciune spre Pământ.

Bătălia dintre Soare și radiația cosmică i-a preocupat pe mulți cercetători. Sateliții detectează radiația cosmică primară înainte ca aceasta să ajungă în atmosfera terestră și să explodeze, însă devierile datorate ecranului solar fac dificilă identificarea sursei acestora. Când ajung în interiorul Sistemului Solar, direcția din care vin particulele nu mai păstrează prea multă informație despre sursa lor stelară.

Radiația cosmică tipică pentru Calea Lactee are aproximativ 20 de milioane de ani. În peregrinarea lor prin spațiul interstelar, unele astfel de radiații se ciocnesc cu atomi și generează nuclee radioactive. Cercetătorii au folosit informațiile despre particulele grele din radiația cosmică înregistrate de sonda spațială americano-europeană Ulysses (1990–2004) pentru a data supraviețuitorii, la fel cum arheologii folosesc carbonul-14 pentru a stabili vârsta obiectelor. S-a considerat că probabil radiația cosmică mai veche s-a împrăștiat prin galaxie.

O ipoteză răspândită susținea că radiația cosmică obișnuită provenea din rămășițele stelelor care explodaseră, și ale căror unde de șoc ar fi putut accelera particulele încărcate până la energii foarte mari. Astronomii au examinat cu ajutorul razelor X zonele fierbinți ale acestor rămășițe, căutând acceleratoarele naturale de particule. Puțini însă s-au așteptat să găsească o sursă atât de evidentă a celei mai puternice radiații cosmice.

„Nu există o explicație mai bună pentru producerea de particule cu energie foarte mare, responsabile de ploile din atmosferă, pe care eu și studenții mei le-am descoperit în 1938 în laboratorul lui Jean Perrin de pe Jungfrauoch.” Astfel

declara fizicianul francez Pierre Auger, comemorat prin atribuirea numelui său observatorului din Argentina. El a făcut această descoperire cu ajutorul unor detectoare de radiație cosmică răspândite pe o suprafață de un kilometru pe platoul alpin Jungfraujoch.

● O problemă cu microundele

O particulă elementară tipică din radiațiile cosmice care ajung în contact cu atmosfera terestră posedă o energie echivalentă cu câteva miliarde de volți, iar particulele lui Auger aveau de un milion de ori mai multă energie. În 1963, John Linsley de la Universitatea New Mexico a experimentat cu 19 detectoare răspândite pe o suprafață de 8 kilometri pătrați și a înregistrat cu ajutorul acestora o ploaie de radiație cosmică provocată de o particulă care părea a avea de 100 000 de ori mai multă energie decât particulele lui Auger. Cu alte cuvinte, o singură particulă subatomică conține tot atâta energie cât o minge de tenis servită cu putere.

O astfel de energie uluitoare ar fi trebuit să le atragă atenția fizicienilor înainte de a trece de la radiația cosmică la acceleratoare. Dar rezultatele lui Linsley au fost întâmpinate cu scepticism, și asta nicidecum datorită descoperirii, câțiva ani mai târziu, a microundelor din spațiul cosmic, care ar trebui să absoarbă energie de la astfel de particule foarte energetice înainte ca ele să poată parcurge distanțe mari prin Univers. Faptul că evenimentele implicând energii foarte mari sunt extrem de rare a fost, de asemenea, descurajator.

Alte echipe din Marea Britanie, Japonia și Rusia și-au creat propriile rețele de detectoare. În următoarele trei decenii, acestea au mai descoperit câteva astfel de ploii teribile de particule. Cu ajutorul detectoarelor plasate în mlaștinile din Yorkshire, o echipă din Leeds reușit să confirme că o particulă care provoacă o ploaie poate depăși limita de energie impusă în cazul blocării de către microundele cosmice. Începând din 1976, fizicienii din statul Utah au folosit telescoape „fly's eye” pentru a detecta emisiile în ultraviolet ale ploilor din timpul nopților fără Lună. Era o cale independentă de a confirma imensa energie a particulelor de impact.

Cum reușesc particulele de energie înaltă să depășească bariera microundelor? Un posibil răspuns este că provin din galaxii relativ apropiate, unde radiațiile cosmice energetice sunt produse din materie obișnuită prin acțiunea găurilor negre gigantice. Având în vedere că și în centrul propriei noastre galaxii, Calea Lactee, există o gaură neagră imensă, relativ ascunsă, aceasta este și ea candidată la rolul de sursă de radiație cosmică.

Potrivit unei alte ipoteze, particulele exotice masive, nemaivăzute înainte, au fost produse în timpul Big Bang-ului cu care se presupune că a început Universul. Povestea spune că aceste particule exotice au hoinărit, timp de mai multe miliarde de ani, fără a interacționa cu microundele cosmice, înainte de a se descompune. Apoi s-au transformat în particulele obișnuite, dar foarte energetice, care

sunt detectabile sub forma radiației cosmice. Unii teoreticieni sugerează că particulele exotice ar avea tendința de a crea un halo în jurul Căii Lactee, unde și-ar petrece timpul înainte de a se descompune.

Progresele realizate în monitorizarea radiației cosmice și o varietate de teorii interesante au dus la decizia de a se construi Observatorul Auger. Acesta trebuia să fie suficient de mare pentru a detecta evenimente la energii ultraînalte cel puțin o dată pe săptămână. Îndepărtatul semideșert al Argentinei a fost preferat ca loc al construcției datorită reliefului său plat și absenței iluminării artificiale (cum ar fi iluminatul stradal din orașe).

Fiecare dintre cele 1 600 de detectoare de particule necesită un rezervor de apă de 12 tone, detectoare de lumină și conexiuni radio alimentate de panouri solare. Particulele radiației cosmice produc descărcări luminoase atunci când trec prin apă. Detectoarele transmit informația prin radio unei stații centrale, cu ajutorul unei tehnici perfecționate la Leeds.

Sateliții Sistemului de Poziționare Globală (GPS) au ajutat la determinarea, cu mare acuratețe, a timpilor relativi de sosire ai particulelor la diferite detectoare. Aceștia au permis fizicienilor să stabilească, cu precizia de un grad de arc, direcția din care veneau particulele. Spre deosebire de radiația cosmică obișnuită, particulele cu energii înalte nu sunt semnificativ abătute de la direcția lor de către câmpurile magnetice ale galaxiei, Soarelui sau Pământului.

„Ar trebui ca în curând, poate chiar înainte ca observatorul să fie gata, să putem spune dacă particulele de mare energie provin din centrul galaxiei noastre sau dintr-o galaxie activă din apropiere, cum ar fi Centaurus A”, comenta Alan Watson de la Leeds, purtătorul de cuvânt al Observatorului Auger. „Și totuși una dintre cele mai misterioase caracteristici ale acestor particule ale radiației cosmice de energie înaltă este că par să vină din toate direcțiile. Oricare s-ar dovedi a fi concluzia despre ele, trebuie să fie interesantă, pentru fizică, pentru astronomie, sau pentru amândouă.”

● Alte modalități de abordare

Observatorul Auger a fost cel mai amplu dintre proiectele de la începutul secolului al 21-lea, care s-a focalizat asupra fenomenului radiației cosmice de înaltă energie. În Utah s-a continuat folosirea telescoapelor de fluorescență „fly's eye” și au existat propuneri ca lumina albastră a ploilor de particule ale radiației cosmice să fie urmărită chiar de pe Stația Spațială Internațională. Calculele au sugerat că un instrument adecvat plasat în spațiu ar putea detecta câteva astfel de evenimente în fiecare zi.

Sursele din Univers ale radiației cosmice de energie ultraînaltă pot produce, de asemenea, radiații gama, care sunt ca niște raze X foarte energice. La impactul cu atmosfera terestră acestea produc slabe străfulgerări de lumină. Pentru a identifica direcția din care sosesc razele gama, a fost amplasată în Namibia, în cadrul

unui proiect internațional, o rețea de patru telescoape numită Hess, după numele celui care a descoperit radiația cosmică.

Neutrini de energii ultraînalte, care sunt rudele neutre din punct de vedere electric ale electronului, pot produce scintilații luminoase la trecerea prin apa mării, prin apa lacurilor adânci sau prin gheața polară. Proiecte-pilot realizate de diferite țări au analizat posibilitatea de a folosi acest efect. Neutrini obișnuiți, proveniți din ploile de radiație cosmică din atmosfera terestră sau chiar din nucleul Soarelui, sunt deja detectați în mod curent în laboratoarele subpământene din mine. În condiții asemănătoare, cercetătorii caută particule exotice prin mijloace directe.

Luată în ansamblu, aceste modalități de studiu al radiației cosmice și al altor particule provenind din spațiul extraterestru constituie un tip neobișnuit de astronomie, care va câștiga teren o dată cu trecerea anilor. Specialiștii în domeniu l-au numit fizica astroparticulelor.

- Pentru posibile particule exotice, vezi **SPARTICULELE** și **MATERIA NEAGRĂ**. Pentru vânătoarea de neutrini, vezi **OSCILAȚIILE NEUTRINICE**. Pentru influența Soarelui, vezi **VÂNTUL SOLAR**. Pentru legătura dintre radiația cosmică și nori, vezi **LUMINA PĂMÂNTULUI**.

RELATIVITATEA



Indicator
Indicator
Indicator
Indicator

- ÎNTR-UN FEL, *Relativitätstheorie* a reprezentat întotdeauna o denumire prea limitată pentru ideile lui Albert Einstein despre spațiu, timp, mișcare și gravitație. Părea că transformă știința în ceva nesigur. De fapt, scopul său era să descopere ceea ce rămânea invariabil în legile fizicii, în *pofida* confuziilor cauzate de mișcările relative și de accelerații.

Concluziile sale clarifică o mare parte din fizică și din astronomie. Luată una câte una, ideile sale despre relativitate nu sunt nici pe departe atât de dificile pe cât par, dar sunt destul de multe. Una dintre teoriile principale este teoria relativității restrânse (1905), care se referă la **CĂLĂTORII CU VITEZA LUMINII**. O alta este teoria relativității generalizate (1915), care are în centru **GRAVITAȚIA**.

ENERGIA ȘI MASA apar în faimoasa formulă $E=mc^2$, care a fost un produs secundar al teoriei relativității restrânse. Ea demonstrează cum se poate obține energie

din materie, pentru a alimenta **STELELE** și **ARMELE NUCLEARE**, care au reprezentat un rezultat secundar important prin consecințele sale. Ecuația implică faptul că se poate obține materie ca o formă densificată a energiei, dar când Paul Dirac a combinat relativitatea restrânsă cu teoria cuantică, s-a dovedit că apare, în mod inevitabil, și **ANTIMATERIA**.

Relativitatea generală este o altă cutie cu surprize, dintre care **GĂURILE NEGRE** amplifică uimitoarele efecte pe care le are gravitația asupra timpului și spațiului. Ele sunt, de asemenea, convertori foarte eficienți ai materiei în energie. **UNDELE GRAVITAȚIONALE**, prezise de teoria relativității generalizate, sunt căutate cu conștiinciozitate. Mai ipotetice sunt găurile de vierme și buclele spațio-temporale, care sugerează că este posibil să existe **MAȘINILE TIMPULUI**.

Aplicată în cosmologie, teoria relativității generalizate a lui Einstein ar fi putut prezice expansiunea Universului, dar el a băjbâit de două ori. Mai întâi a adăugat o constantă cosmologică pentru a preveni expansiunea pe care o implica teoria lui, pentru ca apoi să decidă că greșise. În final, constanta sa cosmologică a reapărut la sfârșitul secolului al 20-lea, când astronomii au descoperit că expansiunea cosmică se accelerează, impulsionată de **ENERGIA NEAGRĂ**.

Teoria relativității restrânse pare incontestabilă, însă sunt semne de întrebare în legătură cu relativitatea generală, datorită unei nepotriviri cu teoria cuantică. Acestea sunt dezbătute în capitolele **GRAVITAȚIA** și **SUPERCORZILE**.

RITMURILE CEREBRALE



Matematica ritmului în care gândim

D ACĂ NAVIGHEZI SEARA pe Mae Nam, râul care leagă orașul Bangkok de mare, poți vedea copacii pulsând cu o lumină neobișnuită. Acest fenomen are loc într-un ritm bine determinat, de 90 de pulsații pe minut. Atunci când i s-a explicat că lumina vibratorie se datora licuricilor masculi care luminau cu toții în același timp, un profesor invitat a preferat să creadă că, mai degrabă, avea el un tic nervos la pleoape.

El a declarat: „Un astfel de fenomen la insecte este în mod cert contrar legilor naturii”. Aceasta se petrecea în 1917. Au trecut apoi aproape 20 de ani până când

biologul american Hugh Smith a descris fenomenul de la Mae Nam într-un mod foarte detaliat, într-o revistă științifică occidentală.

„Imaginați-vă 150 de metri de faleză de râu pe care se află un șir neîntrerupt de arbori *Sonneratia*, cu licurici pe fiecare frunză, emițând lumină într-o simultaneitate perfectă”, relatează Smith, „iar insectele din copacii de la extremitățile șirului acționând la unison cu cele din mijloc. Atunci, dacă dispunem de o imaginație suficient de bogată, ne-am putea face o idee despre acest spectacol uimitor”.

Cu mare dificultate,ologii au acceptat că ritmurile sincronizate sunt ceva firesc în rândul creaturilor vii. Licuricii din Thailanda reprezintă doar un exemplu spectaculos al unei aptitudini pe care o împărtășesc în egală măsură și greierii care țârlăie la unison sau stolurile de păsări care dau din aripi pentru a realiza o formație de zbor aproape perfectă.

Chiar și a căuta și a discuta despre astfel de ritmuri aparent ezoterice specifice grupurilor de animale înseamnă a trece cu vederea faptul că, la fiecare animal, apar coordonări mult mai importante și mai evidente între celulele vii. Încercați, de exemplu, să simțiți pulsul și pomparea regulată a sângelui. Celulele cardiace, acești veritabili stimulatori cardiaci naturali, concertează pe durata întregii noastre vieți. Ele își adaptează constant ritmurile pentru a fi în concordanță cu situațiile de repaus sau de acțiune intensă.

Ritmurile biologice tolerează și remediază adesea neglijențele vieții reale. Animalele sau celulele participante nu sunt niciodată identice din punct de vedere al performanțelor lor individuale. Totuși, se poate dezvolta ca prin minune un ritm exact, coerent, care elimină diferențele cu o precizie matematică. Participanții care au frecvențele cele mai apropiate ajung la un consens care stabilește ritmul metronomului, în timp ce ceilalți se supun ritmului. Faptul că anumiți participanți nu se supun niciodată ritmului, sau faptul că alții eșuează în acest sens, este lipsit de importanță. Inima continuă să bată.

● Potențialul electric din cap

În 1924 un psihiatru din Jena, Hans Berger, a amplasat o foiță de staniol împreună cu un fir pe fruntea fiului său și alta în zona posterioară a capului. El a adaptat un radio pentru a amplifica posibilele unde electrice captate. Le-a descoperit cu ușurință, verificându-le și reverificându-le timp de cinci ani înainte de a-și anunța descoperirea.

Totuși, undele cerebrale descoperite de Berger s-au confruntat cu același scepticism ca și licuricii din Bangkok, din motive oarecum similare. Un electrod atașat scalpului înregistrează tensiuni electrice dintr-o regiune cerebrală întinsă. Ne-am putea aștepta la o compensare a acestora, cu excepția cazului în care un număr mare de celule nervoase s-ar hotărî să vibreze într-o neașteptată sincronizare.

Și chiar așa s-au și petrecut lucrurile, iarologii de la Cambridge au confirmat descoperirea lui Berger în 1934. Mai târziu, undele cerebrale au devenit o mare

afacere pentru neurologi, psihologi și medici. S-au efectuat nenumărate electroencefalograme, sau EEG-uri, tipărite pe kilometri de role de hârtie prin intermediul numeroaselor penițe care vibrau ca răspuns la tensiunile electrice în continuă schimbare din diferitele regiuni cerebrale.

Unul dintre ritmurile importante descoperite de Berger este ritmul undelor alfa, de 10 cicluri pe secundă, care apare atunci când ne relaxăm în tăcere, cu ochii închiși. Când deschidem ochii, apar undele gama, mai rapide. Chiar și cu ochii închiși, dacă facem un exercițiu de aritmetică mentală sau dacă ne imaginăm scene pline de viață, ritmul alfa poate dispărea.

Aha! Undele cerebrale par să deschidă o fereastră către creierul viu prin care entuziaștii credeau că vor descoperi modul în care gândim. Poate chiar, cu ajutorul EEG-urilor, s-ar putea citi gândurile oamenilor. Astfel de speranțe nu au fost confirmate. În pofida deceniilor de eforturi susținute, principalele beneficii ale EEG-ului în ultimii ani ai secolului al 20-lea au fost de ordin medical. Acestea au constituit o sursă neprețuită pentru diagnosticarea tulburărilor cerebrale majore, cum ar fi accidentele vasculare cerebrale, tumorile și diferitele forme de epilepsie.

Procese mintale, incluzând afecțiunile mintale printre care și schizofrenia, nu au fost indicate de vreun semnal deosebit în electroencefalogramă. S-au înregistrat și răspunsuri înșelătoare în cazul gândirii normale, atunci când voluntarii au învățat să-și controleze într-o anumită măsură undele cerebrale. Scepticii au afirmat că această încercare era similară celei de a înțelege modul de funcționare a unui computer deplasând un voltmetru prin fața lui. Totuși, unii cercetători nu au renunțat.

„Sistemul nervos are un ritm în care putem gândi”, a afirmat Nancy Koppel din Boston la o conferință, la începutul secolului al 21-lea. Siguranța ei reflecta o transformare majoră de atitudine față de începuturile cercetării undelor cerebrale. Koppel a abordat subiectul ritmurilor biologice din punctul de vedere principal al unui matematician.

Dacă înțelegem, din punct de vedere matematic, cum reușesc celulele nervoase să se alăture corurilor care activează electroencefalogramele, vom putea apoi descoperi de ce se întâmplă acest lucru și de ce variază ritmurile. Atunci vom fi capabili să precizăm în ce mod sunt corelate undele cerebrale cu activitățile de întreținere corporale și cerebrale și cu gândirea activă.

● De la licurici la neutrini

Pentru a înțelege mai profund lucrurile, să pornim de la exemplul simplu al ritmurilor biologice cum este cel al licuricilor tailandezi. Să ne gândim că ei sunt, analogic vorbind, ca niște oscilatori atomici. Fiecare insectă începe prin a sclipi în mod aleator și ajunge în final să facă parte dintr-un șir de copaci care strălucesc coerent. Acestea sunt precum atomii unui laser, care își stimulează reciproc emisiile.

Sau ne putem gândi la licurici ca fiind asemănători atomilor ce se deplasează haotic, cedează energie și alcătuiesc o rețea cristalină cu ordine locală. Aceasta a fost o comparație recomandată de Arthur Winfree de la Arizona, în anul 1967. În anii care au urmat, un fizician de la Universitatea Kyoto, Yoshiki Kuramoto, a folosit această analogie pentru a concepe o ecuație matematică cu soluții exacte care descrie fenomenul de sincronizare al unei mulțimi mari de oscilatori cuplați. Modelul lui Kuramoto se poate aplica multor sisteme simple, fie ele fizice, chimice sau biologice, de oscilatori cuplați.

„La nivel teoretic, oscilațiile cuplate nu sunt mai surprinzătoare decât apa unui lac care îngheață”, a afirmat Kuramoto. „E suficient să răcim puțin aerul și apa de la suprafață va îngheța. În condițiile de ger aspru, apa întregului lac va îngheța. La fel se petrec lucrurile și cu licuricii sau cu oricare alte sisteme de oscilatori care ajung, în etape, să vibreze la unison.”

Modelul lui s-a dovedit a fi foarte adaptabil. La sfârșitul secolului, un detector japonez de particule subatomice numite neutrini a dezvăluit faptul că aceștia oscilează rapid între o formă și alta. Dacă neutrinii ar face aceasta în mod individual și aleatoriu, transformarea nu ar fi fost observabilă. De aceea teoreticienii au apelat la modelul lui Kuramoto pentru a explica de ce neutrinii se transformă simultan, la fel ca un cor perfect sincronizat.

Teoria matematică a fost confirmată experimental de către producătorii de microcipuri, dispozitive conținând mulți oscilatori electronici, care au descoperit că îi pot aduce la unison cu ajutorul oscilațiilor cuplate. Fenomenul era independent de diferențele de comportament individual generate de imperfecțiunile din construcție. Natura tolerantă dar în mod esențial autodisciplinată a procesului de sincronizare devenea din nou evidentă.

În 1996, spre exemplu, fizicienii de la Georgia Tech și de la Cornell au realizat experimente cu o serie de dispozitive supraconductoare, denumite joncțiuni Josephson. Ei au observat inițial o sincronizare parțială, iar apoi cuplarea completă a frecvențelor oscilatorilor în două tranziții de fază distincte. Steven Strogatz de la Cornell a comentat cu acea ocazie: „Modelul Kuramoto continuă să ne surprindă chiar și după 25 de ani”.

● Coordonarea activității cerebrale

În cazul sistemelor simple, teoria se verifică, însă ce se întâmplă în cazul mult mai complex al creierului uman? O rețea de fibre nervoase fine face legătura între miliarde de celule individuale, în moduri foarte specializate. Asemenea unui licurici sau unui neutrin, o celulă nervoasă individuală este influențată de activitatea celorlalte celule și le poate influența la rândul ei. Aceasta face posibilă sincronizarea la scară largă.

Pas cu pas, matematicienii s-au îndreptat spre o complexitate și mai mare, a interacțiunii dintre celule. O etapă intermediară în coordonarea oscilațiilor este

asemănătoare „valului mexican”, o mișcare sincronă a fanilor sporturilor care se ridică și se așază, nu toți o dată, ci succesiv, tribună după tribună. Atunci când intestinul unui animal transportă hrana, direcționată întotdeauna de la cavitatea bucală spre anus, într-un proces numit peristaltism, acțiunea musculară nu este simultană precum bătăile inimii, ci secvențială. Procese secvențiale ordonate în mod similar dau posibilitatea animalelor să înoate, să se târască sau să se deplaseze.

Fizica matematică a unui astfel de ritm descrie o undă care se propagă. În 1986, Nancy Kopell și Bard Ermentrout de la Pittsburg au elaborat o teorie care a fost confirmată cu succes de către biologii care au studiat controlul nervos al înotului la chișcari, creaturi primitive asemănătoare peștilor, din familia *Petromyzontidae*. Aceste studii erau încă departe de creierul uman, iar următorul pas a fost examinarea interacțiunilor din rețele relativ mici de celule nervoase atât din punct de vedere matematic, cât și prin experimente cu mici bucăți de țesut din creierile animalelor.

În pofida succesului experimentului pe chișcari, Koppel a înțeles că într-un sistem nervos, atât comportamentul celulelor individuale, cât și interconexiunile puternice dintre ele devin semnificative. Teoriile oscilatorilor simpli, cum era cea a lui Kuramoto, nu mai sunt aplicabile la astfel de sisteme. În timp ce se străduia să elimine detaliile biologice ne semnificative, Kopell a descoperit că matematica teoretică se asociază din ce în ce mai mult cu fiziologia practică, dezvăluită de colegii experimentatori.

Diferitele ritmuri sunt asociate diferitelor tipuri de răspunsuri ale celulelor nervoase la semnalele electrice dintre ele, în funcție de starea celulei. Astfel, conexiunile electrice și chimice dintre celule joacă un rol important în stabilizarea sau modificarea ritmurilor. Matematica nu poate ignora aceste complexități, dar trebuie să le disece pentru a descoperi principiile de bază.

Alți specialiști în neuroștiințe au evidențiat modele comportamentale mult mai complicate ale celulelor, atunci când acestea procesează și stochează informația în rețele construite minuțios. Absorbțiile de substanțe chimice, fie autogenerate sau sub formă de medicamente care afectează starea psihică, pot influența un număr mare de celule. În acest sens, undele cerebrale electrice oferă o metodă în plus de sincronizare a celulelor cerebrale.

Cercetarea psihologică, aflată în căutarea implicațiilor undelor cerebrale, a cunoscut un mare avânt începând cu anul 1990. Experimentatorii folosesc tehnici EEG precise și analize computerizate care le erau inaccesibile primilor cercetători în domeniu. Ca rezultat, în activitatea cerebrală ce controlează atenția, percepția și memoria au fost implicate unde de diferite frecvențe.

Deci în ce sens undele cerebrale electrice generează „ritmul în care gândim”? Kopell a reformulat această întrebare în două etape. Cum produce creierul

ritmuri diferite în stări comportamentale diferite? Și în ce mod participă aceste ritmuri diferite la dinamica cerebrală importantă din punct de vedere funcțional?

„Intuiția îmi spune că ritmurile cerebrale își recrutează celulele nervoase în grupuri locale pentru sarcini specifice și exclud celulele care nu au fost invitate să participe la acestea”, a spus Kopell. „Grupurile celulare se pot modifica în orice moment ca răspuns la diferite evenimente. Ritmurile cerebrale coordonează de asemenea grupurile locale din diferite regiuni cerebrale, reorganizându-le atunci când fluxurile de informație converg. Ritmurile diferite joacă roluri complementare în această activitate. În orice caz, aceasta reprezintă ceea ce eu cred și sper să demonstrez, atât prin experimente fiziologice, cât și prin matematică.”

► *Pentru alte aspecte ale cercetării cerebrale, vezi IMAGINILE CEREBRALE, CONEXIUNILE CEREBRALE și MEMORIA. Pentru mai multe informații despre oscilațiile naturale, vezi OSCILAȚII NEUTRINICE.*

Indicator
Indicator
Indicator
Indicator

SCARA LUI BERNAL



CU MULT ÎNAINTE ca epistemologul Thomas Kuhn să introducă termenul de „schimbare de paradigmă” în cercetările sale cu privire la revoluțiile științifice (vezi **DESCOPERIRILE**), oamenii de știință erau conștienți că acceptarea noilor descoperiri și teorii reprezintă o problemă. Fizicianul Desmond Bernal a devenit faimos în Londra la jumătatea secolului al 20-lea în calitate de cristalograf, cercetător în cadrul armatei și critic social de stânga. El a descris succesiunea de atitudini ale colegilor săi față de noutățile din știință ca pe o idee evoluând gradat de la respingere către acceptare:

1. Nu poate fi adevărat.
2. Ar putea fi adevărat, dar nu e important.
3. Ar putea fi important, dar nu e original.
4. Asta am considerat și eu întotdeauna.

Scara lui Bernal este foarte actuală. S-ar putea da exemple, deși subiective, asupra statutului pe care l-au avut, la începutul secolului al 21-lea, câteva dintre descoperirile și ideile cuprinse în această carte. Pe prima treaptă, cu un număr restrâns de susținători, este teoria potrivit căreia impacturile cu comete sau asteroizi produc enorme erupții vulcanice (vezi **INUNDAȚIILE BAZALTICE**). Anunțul unor oameni de știință din Italia că ar fi detectat particule exotice de proveniență cosmică a fost, de asemenea, primit cu neîncredere (vezi **MATERIA NEAGRĂ**), ca și ipoteza irlandeză că exploziile de raze gama ar fi implicate în formarea Pământului (vezi **MINERALELE ÎN SPAȚIU**).

Pe treapta a doua a scării lui Bernal, când simpla negare nu mai este posibilă, dar implicațiile sunt desconsiderate, se află dovada faptului că evoluția speciilor joacă un rol important în răspunsul ecosistemelor la schimbările actuale (vezi **EVOLUȚIA ECOLOGICĂ**). Pe aceeași poziție este situat rolul variațiilor solare în schimbările majore ale climatului (vezi **FENOMENELE GALCIARE**).

Invidiată pentru acceptarea sa și plasată pe cea de-a treia treaptă a scării lui Bernal este demonstrația faptului că creierul adult își reînnoiește în mod constant celulele nervoase și le poate reorganiza conexiunile (vezi **CONEXIUNILE CERE-**

BRAL). Pe întreaga durată a secolului al 20-lea a avut loc o dispută aprinsă, cu sorți de izbândă schimbători, între susținătorii conexiunilor fixe ale creierului și cei ai creierului „maleabil”. În consecință, ar fi ușor de imaginat, deși pe nedrept, că aceste descoperiri ar fi fost anticipate.

Un caz similar din categoria „Ar putea fi important, dar nu e original” îl reprezintă reacția la propunerea primelor mecanisme moleculare de accelerare a evoluției în condițiile schimbării de mediu (vezi **MONȘTRII OPTIMIȘTI**). Experimente similare fuseseră realizate cu 40 de ani mai înainte, fără însă a beneficia de ultimele descoperiri din biologia moleculară. Aducându-și aminte de aceste experimente, adversarii acestei teorii au încercat să lase deoparte asemenea informații supărătoare.

Cei mai mulți experți au devenit brusc amnezici în momentul în care le-a fost imputată adversitatea față de descoperirile situate confortabil, la începutul secolului al 21-lea, pe cea de-a patra și ultima treaptă a scării lui Bernal. Una dintre teoriile care a supraviețuit celor mai înverșunate atacuri descria proteinele ca fiind agenți infecțioși (vezi **PRIONII**, de asemenea **DESCOPERIRILE**, unde această dispută este descrisă pe scurt). Pe aceeași treaptă a relativei siguranțe s-a plasat afirmația – cândva caracterizată drept arogantă de către unii biologi – cu privire la rolul pe care l-a avut impactul cometelor și asteroizilor în extincția dinozaurilor și a altor creaturi (vezi **EXTINCȚIILE**).

Ideile noi au rareori succes, unele sunt pur și simplu eronate, și multe dintre ele nici nu trec de prima treaptă a scării lui Bernal. Alte idei se bucură de vraja unui succes aparent, după care cad de pe scară. Presupunerea potrivit căreia ființele umane sunt deosebit de agresive a fost foarte populară odată, dar a regresat în credibilitate în ultimii 50 de ani (vezi **ALTRUIZMUL ȘI AGRESIVITATEA**). Dogma fundamentală a biologiei moleculare, potrivit căreia genele determină proteinele și nu invers, a supraviețuit foarte puțin (vezi **GENELE**).

Aflat într-un echilibru precar, după părerea criticilor, pe cea mai înaltă treaptă a scării, este conceptul de „cursă evoluționistă a înarmărilor” ca principal motor al istoriei vieții. Acest concept a fost retrogradat la statutul de „război de gherilă” în urma recentelor descoperiri din genetică (vezi **BOLILE PLANTELOR**). Ideea potrivit căreia rocile fierbinți, expulzate de vulcani, provin din apropierea centrului Pământului este și ea pusă sub semnul întrebării (vezi **ZONELE FIERBINȚI**).

SCHIMBĂRI CLIMATICE



Vom sfârși congelați sau fripți?

BERLIN ȘI COPENHAGA, New York și Chicago, toate stau pe scaunele ghețarilor plecați să ia masa de prânz. Aceștia se întorc mereu, într-o lungă succesiune de ere glaciare, întrerupte de interludii călduroase. Epoca de gheață se va întoarce într-o zi, dacă oamenii nu vor găsi o cale de a evita aceasta.

Pe durata secolului al 20-lea, problema care a dominat climatologia a fost cauza apariției și dispariției ghețarilor. Se cunoaște încă din secolul al 19-lea faptul că, din când în când, Canada, Scandinavia și zonele învecinate dispar sub straturi groase de gheață, fenomen însoțit de glaciațiuni în zonele muntoase. Efectele asociate includ o scădere importantă a nivelului mării, furtuni de praf, produs în urma măcinării rocilor de către ghețari, precum și reducerea precipitațiilor care determină uscarea pădurilor tropicale.

Informațiile eronate au întârziat înțelegerea acestor evenimente periculoase pentru climă. În 1909, geologii Albrecht Penck și Eduard Brückner au studiat relicvele glaciare din Alpi. Cei doi au ajuns la concluzia că în perioada recentă au avut loc patru ere glaciare, întrerupte de lungi intervale de căldură. Timp de peste 60 de ani, studenții au învățat pe de rost numele glaciațiunilor, derivate din râurile bavareze: Günz, Mindel, Riss și Würm.

Această istorie era înșelătoare, deoarece fiecare glaciațiune tinde să șteargă urmele celor de dinainte. Primul semn de eroare a apărut în 1955, când Cesare Emiliani de la Chicago a analizat fosilele unor animale mici, foraminiferele, colectate de către o navă de cercetare din sedimentele aflate pe fundul Mării Caraibelor. El a descoperit variații ale concentrației de atomi de oxigen greu, oxigen-18, din fosile, care se datorau, după părerea sa, variațiilor temperaturii apei marine dintre perioadele călduroase și erele glaciare. Emiliani a dedus că au fost cel puțin șapte ere glaciare, față de cele patru ale lui Penck și Brückner, însă puțini oameni de știință l-au crezut atunci.

În 1960, George Kukla, un geolog ceh, a remarcat și a fost impresionat de modelele benzilor din carierele folosite la fabricarea cărămizilor. Depunerile de loess – solul erodat de vânt în timpul erelor glaciare – erau întrerupte de fâșii înguste întunecate la culoare, datorate urmelor lăsate în sol de perioadele calde dintre

erele glaciare. El și-a petrecut anii următori comparând și numărând straturile din 30 de cărămidării de lângă Praga și Brno. În 1969, după ce a emigrat la Universitatea Columbia, Kukla a făcut publică existența a zece ere glaciare.

În aceeași perioadă, Nicolas Shackleton de la Cambridge măsura, la fel ca și Emiliani, proporția de oxigen greu din foraminiferele de pe fundul mării. Însă el a ales doar acele animale mici care au trăit de la început pe fundul oceanului. În perioadele glaciare, când sunt blocate pe uscat mari cantități de gheață, concentrația de oxigen greu din apa oceanului crește. Cu ajutorul fosilelor din probele excavate de pe fundul oceanului, Shackleton considera că măsoară variația cantității de gheață între erele glaciare și perioadele intermediare călduroase.

În mostrele colectate de pe fundul oceanului de Shackleton, Neil Opdyke de la Columbia a detectat o inversare a câmpului magnetic terestru ce a avut loc în urmă cu 700 000 de ani. Această descoperire din 1973 a oferit prima dată sigură a ciclurilor glaciare și a diferitelor etape climatice observate în probele marine. Abia atunci a devenit evident pentru experții în domeniu că rezultatele cercetărilor lor se potriveau de minune cu efectul Milankovitch.

● Când zăpada rezistă toată vara

Milutin Milankovitch a fost un inginer constructor sârb pasionat de studiul climei. În anii 1920 el a perfecționat o teorie a erelor glaciare, pornind de la ideile anterioare. Antarctica este mereu acoperită de straturi de gheață, așa că se pune problema apariției și dispariției gheții pe suprafețe întinse din emisfera nordică. Și aceasta depinde de puterea Soarelui pe perioada verii din emisfera nordică.

Este el suficient de puternic pentru ca să topească zăpezile iernii? Axa Pământului se rotește încet, descriind un cerc în mii de ani și modificând ciclul anotimpurilor. Planeta se leagănă ca o navă, influențând poziția Soarelui pe cer. Și într-un ciclu și mai lent forma orbitei Pământului se modifică, astfel încât acesta se apropie sau se depărtează de Soare, după anotimp.

Astronomii pot calcula aceste variații, precum și combinațiile diferitelor ritmuri pentru ultimele câteva milioane de ani. Uneori Soarele se ridică sus pe cer și este la o distanță mai mică față de Pământ în perioada verii nordice și poate topi zăpada și gheața. Dar dacă Soarele este jos pe cer și mai departe, zăpada nu se va mai topi. Va rezista toată vara și se va acumula an după an formând straturile de gheață.

În 1974, un scenarist de televiziune se afla în încurcătură. El pregătea o dezbatere multinațională despre vreme și climă și nu voia să fie obligat să prezinte numeroasele teorii concurente despre erele glaciare, tocmai atunci când efectul Milankovitch era pe punctul de a fi confirmat oficial. Așa că a decis să se descurce singur în această situație. Folosind cele mai recente informații astronomice despre oscilațiile orbitei Pământului, a calculat variația volumului total de gheață de pe planetă, pornind de la prezumții simple, și a comparat rezultatul obținut cu

graficul lui Shackleton actualizat cu datele lui Opdyke. Lucrarea sa a fost publicată în revista *Nature*, cu cinci zile înainte de transmiterea emisiunii televizate.

„Curba descrie toate variațiile importante”, nota scenaristul, „și etapele principale pot fi identificate ușor.” Corespondențele erau mult mai bune decât dacă Milankovitch nu ar fi avut dreptate. Unele mici discrepanțe au fost puse pe seama variațiilor vitezei de sedimentare pe fundul oceanului și aceasta a devenit explicația unanim acceptată. În prezent, experții deduc vârsta sedimentelor cu ajutorul oscilațiilor climatice calculate din date astronomice.

Problema era prea importantă pentru a fi lăsată unui în seama scriitor cu un calculator de buzunar. Doi ani mai târziu, Jim Hayes de la Universitatea Columbia și John Imbrie de la Universitatea Brown, împreună cu Shackleton de la Cambridge, au confirmat cu mai multă acuratețe teoria lui Milankovitch, folosind mai multe informații provenind din mostrele din ocean, precum și un calculator mai performant. Cei trei și-au intitulat lucrarea: „Variațiile orbitei Pământului: un stimulator al erelor glaciare”.

În ultimii 5 000 de ani, Soarele care topește zăpada din emisfera nordică a devenit tot mai slab. Când efectul Milankovitch a fost general acceptat ca factor major al schimbărilor climatice pe durate de ordinul mileniilor, a devenit evident că, la această scală de timp, următoarea eră glaciară este iminentă.

„Perioadele călduroase sunt mult mai scurte decât am crezut inițial”, afirma Kukla în 1974. „Ele au o durată de aproximativ 10 000 de ani și regret să vă spun că aceea în care ne aflăm noi tocmai a aniversat cei 10 000 de ani. Asta înseamnă, desigur, că era glaciară poate începe în orice moment.”

La ora actuală sunt încă multe mistere, mai ales în legătură cu topirea bruscă a gheții la sfârșitul fiecărei ere glaciare, la intervale de 100 000 de ani. Temporizarea acestui proces este legată de un efect relativ slab al modificării forme orbitei Pământului și de aceea s-a sugerat că un alt factor, cum ar fi comportamentul straturilor de gheață sau variația cantității de dioxid de carbon din aer, ar fi necesar ca amplificator.

Noi detalii cu privire la episoadele glaciare recente au fost furnizate de probele de gheață obținute prin forarea în adâncime a straturilor de gheață din Groenlanda și Scandinavia. În 2000, Shackleton și-a schimbat părerea potrivit căreia foraminiferele de pe fundul oceanului ar măsura pur și simplu cantitatea totală de gheață. „O parte substanțială a ciclului marin de 100 000 de ani, care a făcut obiectul atâtor analize în ultimul sfert de secol este, de fapt, un indicator al temperaturii apei de adâncime și nu al volumului de gheață.”

Explicația erelor glaciare a fost din nou supusă cercetării la începutul secolului al 21-lea. „Am încetat să mai caut o cauză unică a ciclului glaciare-interglaciare”, a spus André Berger de la Universitatea Catolică din Louvain. „Analizând răspunsul sistemului climatic, se observă o serie de interacțiuni înainte-înapoi; și te poți pierde printre toate acestea.”

Chiar și ideea că următoarea eră glaciară ne pânđește a fost pusă sub semnul întrebării. Variațiile expunerii solare datorate efectului Milankovitch sunt mai puțin vizibile decât în perioada ultimelor trei cicluri glaciare, deoarece orbita Pământului este mult mai aproape de forma circulară în prezent. Potrivit lui Berger, actuala perioadă caldă este asemănătoare unei perioade lungi care a durat de acum 405 000 de ani până acum 340 000 de ani în urmă. În cazul acesta, va mai putea dura încă 50 000 de ani. Aceasta nu face decât să arate că prognozele climatei se schimbă mult mai repede decât însăși clima pe care ele intenționează să o prezică.

● De la răcirea globală la încălzirea globală

În 1939, Richard Scherhag de la Berlin a dedus, pe baza unor periodicități ale fenomenelor atmosferice, că iernile reci vor fi tot mai rare în Europa. Frecvența lor va crește doar treptat, ca urmare a încălzirii din anii 1930. În consecință, următoarele trei ierni din Europa au fost cele mai reci din ultimii 50 de ani.

Armata germană a fost surprinzător de slab pregătită pentru prima sa iarnă în Rusia, în anii 1941–1942. Scherhag nu trebuie învinovățit în mod direct pentru aceasta și, în orice caz, au existat și perioade mai calde pe front. Dar în perioadele geroase înghețul a ucis sau a scos din luptă 100 000 de soldați, iar uleiul a înghețat în tunuri și în tancuri. Armata Roșie era mai bine adaptată la frig și astfel a reușit să-i oprească pe germani la porțile Moscovei.

În 1961, Organizația Națiunilor Unite pentru Alimentație și Agricultură a convocat la Roma o conferință asupra răcirii globale și a efectelor sale probabile asupra rezervelor de alimente. Întâlnirea a fost dominată de Humbert Lamb de la UK Met Office (Oficiul meteorologic britanic). Ca geograf enciclopedist, și ulterior fondator al Departamentului pentru Cercetări Climatice (Climate Research Unit) al Universității East Anglia, avea tot dreptul să fie numit părintele climatologiei moderne. El a atras atenția asupra faptului că, în anii 1930 și 1940, condițiile climatice relativ blânde au adormit specia umană într-o stare de mulțumire față de acestea, exact în momentul în care populația înregistra o explozie demografică și când frigul și seceta puteau afecta rezervele de hrană.

Continua schimbare a climatului a fost cel mai important și cel mai sigur mesaj transmis prin studiul istoric realizat de Lamb și de ceilalți. În ultimii 1 000 de ani, climatul global a oscilat între condiții probabil mai blânde ca acum (în Perioada Caldă Medievală) și condițiile mult mai reci ale Micii Ere Glaciare. Lamb dorea ca populația să fie pusă în gardă față de posibilele efecte ale viitoarelor modificări climatice, indiferent de orientarea lor, spre o răcire sau spre o încălzire globală.

În 1964, revista londoneză *New Scientist* a publicat o sută de articole ale unor experți renumiți, despre *Lumea în 1984*, care făceau previziuni pe 20 de ani în mai multe domenii ale științelor exacte și ale științelor sociale. Meteorologii implicați au prevăzut impactul major al calculatoarelor și al sateliților în prognoza vremii. Însă observațiile în legătură cu modificările climatice s-au dovedit

nepotrivite mai târziu, deoarece niciunul dintre experți nu a menționat măcar posibilitatea încălzirii globale în urma efectului de seră produs de activitățile umane.

Șeful lui Lamb de la Met Office, Graham Sutton, a formulat astfel întrebarea principală referitoare la climă: variațiile sunt create de agenți externi, cum ar fi Soarele, sau atmosfera însăși adoptă în mod spontan diferite moduri de mișcare? Directorul serviciului de meteorologie prin satelit al Statelor Unite, Fred Singer, remarcă în acordul de colaborare valabil în 1964 că influențele extraterestre declanșează efecte în apropierea solului. Singer a explicat atunci că dorește să înțeleagă clima pentru a o putea controla, în scopul unei vieți mai bune. În același ton, Roger Revelle de la UC San Diego considera că uraganele ar putea fi atenuate prin răcirea oceanelor, și de aceea intenționa să împrăstie praf de oxid de aluminiu pe apă, pentru ca aceasta să reflecte lumina solară.

Să nu uităm că, în anii 1960, știința și tehnologia cunoșteau un avânt extraordinar. Eram deja în drum spre Lună, deci ce ne-ar mai fi fost imposibil? În acea vreme, americanii propuneau plasarea unor oglinzi uriașe pe orbită pentru a încălzi planeta cu ajutorul razelor solare reflectate astfel. Australianii se gândeau să-și vopsească întreaga coastă de vest în negru, pentru a susține convecția și a produce astfel ploi în deșertul din interiorul continentului. Rușii sperau să poată redirecționa râurile siberiene spre sud, astfel încât absența apei dulci deversate în Oceanul Arctic să reducă gheața marină, ducând astfel la o încălzire a planetei.

Dacă oamenii credeau că au suficientă putere asupra naturii pentru a putea modifica intenționat clima, întrebarea evidentă era dacă nu cumva aceasta se petrecea deja, neintenționat. Clima a continuat să se răcească în anii 1960 și la începutul anilor 1970. Pe atunci, toate marile furtuni, inundații și secete au fost puse pe seama răcirii globale. În timp ce Lamb credea că acest proces era probabil legat de variațiile naturale solare, Reid Bryson de la Universitatea Wisconsin atribuia fenomenul de răcire prafului produs de activitățile umane – nu sulfatilor care aveau să fie obiectul unor preocupări ulterioare, ci prafului adus de vânt de la fermele din zonele semiaride.

Ipoteza efectului de seră pândează însă din umbră. Efectul de seră obișnuit a fost pus în evidență după ce astronomul englez William Herschel a descoperit razele infraroșii, în 1800. Cercetătorii și-au dat seama atunci că moleculele vaporilor de apă, ale dioxidului de carbon și ale altor gaze din atmosferă mențin Pământul cald prin absorbția radiațiilor infraroșii care altfel s-ar fi disipat în spațiu, jucând astfel rolul unei ferestre de seră.

În aceste condiții, n-ar fi fost de așteptat ca dioxidul de carbon emis în atmosferă prin arderea combustibililor fosili să accentueze procesul de încălzire? La începutul secolului al 20-lea, Svante Arrhenius de la Stockholm considera că ușoara creștere a temperaturii provocată de dioxidul de carbon adițional putea fi amplificată de intensificarea evaporării apei.

În anii 1970, două evenimente au contribuit la readucerea în prim plan a problemei efectului de seră. Una a fost confirmarea creșterii constante, de la an la an, a cantității de dioxid de carbon din aer, în urma măsurărilor realizate pe vârful Mauna Loa, în Hawaii. Cealaltă a fost introducerea în climatologie a unor programe complexe de calculator, denumite modele, asemănătoare celor folosite cu succes în prognoza zilnică a vremii.

Modelele trebuiau ajustate, chiar și pentru a simula clima actuală, dar puteau fi folosite și pentru a simula clima pe perioade de ani sau secole, pentru a vedea ce se petrece dacă sunt modificați anumiți factori. Syukuro Manabe de la Laboratorul de Dinamică a Fluidelor în Geofizică de la Princeton a fost un deschizător de drum în această direcție. Manabe a calculat consecințele dublării cantității de dioxid de carbon, folosind unele ipoteze simplificate în legătură cu mecanismele sistemului climatic. A ajuns la aceeași concluzie ca și Arrhenius, mai exact la un efect de încălzire remarcabil, avertizând totuși că o ușoară modificare a stratului de nori ar putea chiar anula acest efect.

Bert Bolin de la Stockholm a devenit un profet realist al încălzirii globale provocate de om. „Avem încă rezerve uriașe de petrol și de cărbune, dar se pare că le consumăm tot mai repede”, afirma el în 1974. „Dacă vom continua în acest ritm, în 50 de ani clima ar putea deveni mai caldă cu câteva grade față de prezent.”

Predicțiile sale au fost întâmpinate cu scepticism, cu atât mai mult cu cât planeta părea că se răcește, în ciuda creșterii rapide a consumului de combustibili fosili. „Una peste alta”, scria împăciuitor Lamb în 1977, „efectul creșterii cantității de dioxid de carbon asupra climei duce negreșit la încălzire, dar este probabil ca aceasta să fie mult mai mică decât estimările general acceptate.”

Însă apoi a intervenit veșnic capricioasa climă. La sfârșitul anilor 1970, tendința temperaturii globale s-a inversat și a început reîncălzirea. Zece ani mai târziu, Bolin devenea președintele Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbarea Climei. În 1990, raportul său intitulat *Schimbarea Climei* desemna gazele produse de activitățile umane drept cauză a încălzirii moderate înregistrate în secolul al 20-lea și prezicea o și mai mare încălzire, cu 3°C, în secolul al 21-lea, însoțită de o creștere a nivelului mării.

Acest scenariu i-a determinat pe conducătorii lumii să semneze, doi ani mai târziu, o convenție referitoare la climă prin care se angajau să reducă emisia de gaze cu efect de seră. Începând de atunci, toată lumea a dat vina pe încălzirea globală pentru fiecare furtună, inundație sau secetă, tot așa cum răcirea globală fusese învinuită pentru aceleași evenimente, cu 20 de ani în urmă.

● Modele tot mai complexe

Starea de alarmă produsă de perspectiva unei încălziri globale a deblocat totodată fonduri pentru achiziționarea de calculatoare ultraperformante și intensificarea modelării climatice. Statele Unite, Marea Britanie, Canada, Germania, Franța,

Japonia, China și Australia erau principalele țări care au dezvoltat astfel de modele. Era mereu nevoie de calculatoare mai mari și mai performante, pentru a împărți atmosfera și oceanul în rețele tot mai fine, precum și pentru a calcula într-un timp rezonabil evoluția climei pe o perioadă de un secol.

O dată cu trecerea anilor, modelele au devenit tot mai complexe. În anii 1980, acestea erau atât de specializate încât descriau numai posibilele schimbări atmosferice datorate creșterii cantității de gaze cu efect de seră, ținând cont de efectul asupra suprafețelor de uscat. La începutul anilor 1990, rolul foarte important al oceanului era reprezentat în „modelele de circulație generală atmosferă-ocean”, realizate în premieră la Princeton. Modificările gheții marine au fost și ele incluse în aceste studii.

Următorul pe listă a fost sulfatul, o componentă obișnuită a prafului din aer, și în 2001 a fost inclus în modele și praful non-sulfatic. Ciclul carbonului, în cadrul căruia vegetația din oceane și terestră, precum și solul interacționează cu dioxidul de carbon din aer, era luat în calcul la acea vreme. Alți factori luați în considerație au fost modificările vegetației determinate de schimbările climatice și aspectele mai subtile ale chimiei atmosferei.

Astfel se prezentau cele mai mari și mai cuprinzătoare modele climatice. Pe lângă acestea, mai existau și multe modele mai simple, care studiau diferitele scenarii ale emisiei gazelor cu efect de seră sau testau noi subprograme care să țină cont de influențele unor elemente specifice din sistemul climatic natural. Dar modelatorii se aflau într-un impas. Cu cât încercau să realizeze un program care să dea rezultate cât mai aproape de realitate, prin adăugarea de noi parametri ai sistemului climatic natural, cu atât era mai mare posibilitatea de eroare a calculelor.

În pofida eforturilor mari, cea mai evidentă problemă a modelelor era că puteau da rezultate diferite în legătură cu intensitatea și viteza procesului de încălzire globală, precum și în legătură cu consecințele regionale. În 1996, Comisia Interguvernamentală a promis să reducă erorile prognozelor, dar lucrurile s-au petrecut exact pe dos. Studiile ulterioare au sugerat că reacția climei la dublarea cantității de dioxid de carbon din atmosferă poate avea orice valori de la mai puțin de 1°C până la peste 9°C. Părintele modelării climatice, Syukuro Manabe, remarcă în 1998: „A devenit imperios necesar să reducem actuala incertitudine a modelelor cantitative ale viitoarelor modificări climatice.”

● Perspectiva unei noi viziuni

Estimarea ia în considerare și factorii naturali ai schimbărilor climatice, care pot avea efecte de încălzire sau de răcire. Unul este Soarele, dar există diferențe de opinie în legătură cu rolul său. După ce măsurătorile sateliților au indicat variații foarte mici ale intensității radiației solare, mulți experți au concluzionat că oricare ar fi rolul jucat de Soare în procesul de încălzire globală, acesta este, în mod necesar, mai mic decât efectul calculat al dioxidului de carbon sau al altor gaze

cu efect de seră. Pe de altă parte, specialiștii în fizica solar-terestră au propus unele mecanisme care ar putea amplifica efectele schimbărilor din comportamentul Soarelui.

Printre susținătorii rolului important al Soarelui în schimbarea climei se numără experții de la Centrul de Astrofizică Harvard-Smithsonian, de la Institutul pentru Aeronomie Max Planck și cei de la Imperial College Londra, cei de la Universitatea Leicester și de la Institutul de Științe Spatiale din Danemarca. Aceștia au propus o multitudine de modalități prin care variațiile comportamentului solar ar putea influența clima terestră, prin radiațiile în spectrul vizibil, infraroșu sau ultraviolet, prin undele atmosferice perturbate de vântul solar sau prin efectele radiației cosmice. Și cu toții au fost de acord că Soarele era mai turbulent la sfârșitul secolului al 20-lea decât la începutul observațiilor, când era mai frig.

În 2001 a apărut șansa unei viziuni noi. Statele Unite s-au retras din cadrul negocierilor referitoare la emisia gazelor cu efect de seră, continuând însă să sprijine cercetările mondiale asupra schimbărilor climatice. Donald Kennedy, editorul șef al revistei *Science*, a protestat atunci: „Domnule Președinte, în această privință, rezultatele științifice sunt clare”.

Cu toate astea, câteva luni mai târziu, o comisie a Academiei Naționale de Științe a Statelor Unite concluziona: „Datorită nivelului ridicat și încă nesigur al variabilității naturale, inerente în cazul datelor climatice, precum și a nedeterminărilor evoluțiilor temporale ale diferiților agenți catalizatori importanți (mai ales aerosolii), nu se poate stabili o legătură cauzală neechivocă între creșterea concentrației gazelor cu efect de seră din atmosferă și modificările climatice înregistrate de-a lungul secolului al 20-lea.”

Astfel, cel puțin în Statele Unite, nu mai exista riscul ca oamenii de știință finanțați de guvern să se simtă încurajați sau obligați să confirme un anume mesaj politic. Până și editorii revistei *Science* au admis, la finele anului 2002, că: „Pe măsură ce tot mai multe oscilații ale climei recente se potrivesc cu fazele de creștere și descreștere ale intensității Soarelui, cercetătorii sunt nevoiți, cu toată împotrivirea lor, să ia în considerație la modul cel mai serios Soarele ca factor al schimbărilor climatice.”

Până atunci, Comisia Interguvernamentală pentru Schimbarea Climei fusese condusă de către persoane dispuse să accepte ipoteza efectului de seră – mai întâi de către Bert Bolin de la Stockholm, iar apoi de către Robert Watson de la Banca Mondială. La schimbarea sa din funcție, în 2002, Watson a declarat: „Sunt dispus să mai rămân aici și să fac toate eforturile pentru a mă asigura că descoperirile celor mai buni oameni de știință din lume sunt luate în serios de guverne, de industrie și de întreaga societate.” Acea declarație ilustrează simultan mulțumirea tehnică, dar și partizanatul politic care l-au costat funcția.

Succesorul său, ales cu 76 de voturi pro ale guvernelor participante, contra 49, a fost Rajendra Pachauri de la Institutul de Cercetări Energetice Tata din New

Delhi. „Ascultăm pe toată lumea, dar asta nu înseamnă că și acceptăm ce spune toată lumea”, declara Pachauri. „În final, acesta trebuie să fie un exercițiu obiectiv, corect și onest din punct de vedere intelectual. Dar, cu siguranță, nu vom recomanda niciun set de măsuri.” Secretarul australian al Comisiei, Geoff Love, a intervenit: „Vom încerca să încurajăm atât comunitatea criticilor, cât și comunitatea celor care cred că efectul de seră este o problemă majoră”.

- *Legătura dintre dioxidul de carbon și climă este dezvoltată în CICLUL CARBONULUI. Pentru detalii despre gheață și schimbările climatice, vezi CRIOSFERA. Neclaritățile asupra contribuției oceanelor apar în CURENȚII OCEANICI. Aspecte ale efectelor climatice ale variațiilor solare se regăsesc în LUMINA PĂMÂNTULUI și în FENOMENE GLACIARE. Declanșatorii naturali ai schimbărilor climatice pe durate scurte apar în EL NIÑO și în EXPLOZIILE VULCANICE.*

SISTEMUL IMUNITAR



*Ce sunt eu, ce ești tu
și ce este un virus dăunător?*

- ↑ În 1997, la Universitatea Națională din Australia, aflată la periferia Canberrei, Christopher Goodnow a inițiat construcția unei ferme de șoareci. Scopul său era să adăpostească, pe un teren de 0,5 hectare, 30 000 de șoareci de laborator în condiții aseptice și până în 2006 să obțină șoareci transformați genetic astfel încât toate genele lor să sufere mutații. Era un proiect impresionant, ironizat de mulți specialiști, însă în câțiva ani echipa a produs mutanți cu cancer, cu afecțiuni cardiace sau obezi, pe care cercetătorii din alte instituții s-au bucurat să-i poată studia.

Dintre toate animalele de laborator folosite, șoarecii se aseamănă cel mai mult cu noi. În 2001, au fost publicate descrieri mai mult sau mai puțin complete ale tuturor genelor din genomul de șoarece și din genomul uman. Goodnow a conceput ferma sa de șoareci anticipând parcă apariția acestor progrese, precum și a inevitabilei întrebări „Ce rol au aceste gene?”. După cum impun legile referitoare la experiențele pe animale, relevanța șoarecilor mutanți pentru medicină este destul de directă. Astăzi este relativ ușor să identificăm echivalentul uman al fiecărei gene de șoarece.

Geneticienii folosesc animale de laborator mutante pentru a deduce rolul normal al genelor, din defectele care apar atunci când genele sunt modificate. Substanța

chimică etilnitrozurie, folosită pentru a produce mutații ereditare la șoarecele de Canberra, are un efect necontrolat, astfel încât nu pot fi prezise aspectele vieții lor care vor fi afectate. Însă pentru cercetarea sa, Goodnow căuta în special mutanți cu defecte ale sistemului imunitar, sistem care protejează atât șoarecii, cât și omul de boli. La începutul secolului al 21-lea, problema-cheie nu mai era cum acționează mijloacele specifice de apărare, ci cum se autocontrolează întregul sistem imunitar pentru a nu-și distruge propriul organism.

„Într-un fel, procesul se aseamănă cu șirul deciziilor în cazul lansării unui proiectil militar”, spunea Goodnow, „care servește unui scop asemănător – acela de a împiedica deschiderea focului asupra propriilor trupe.” Din 1985, el a descoperit peste o duzină de gene la șoarece implicate în mecanismele de restricție. Această preocupare continuă l-a inspirat pe Goodnow să-și dorească să treacă în revistă întregul genom al șoarecelui, căutând numeroase alte gene pentru a completa întreaga poveste a sistemului imunitar.

● Boli infecțioase și boli autodistructive

Acest program de înaltă clasă tehnologică a ilustrat cât de departe s-a ajuns față de perioada în care cunoștințele despre sistemul imunitar se limitau la faptul că dacă supraviețuiai în urma unei boli infecțioase, deveniai probabil imun și nu te mai îmbolnăveai și a doua oară. Acest lucru a fost consemnat pentru prima dată într-o monografie a medicului persan Al-Razi, în jurul anului 910 d.Hr., referindu-se în special la variolă și la pojar. Părinții iubitori și medicii șireți din mai multe părți ale lumii au expus intenționat copiii mici la forme ușoare ale unor boli mortale în speranța că aceștia vor supraviețui, dobândind astfel imunitate.

Studiul științific al sistemului imunitar a început o dată cu descoperirea lui Edward Jenner, în 1796, în Anglia, a faptului că inocularea unei forme ușoare de variola vacilor protejează și împotriva variolei umane. Vaccinia (în românește vaccina n.r.), denumirea medicală a variolei vacilor, l-a inspirat pe Louis Pasteur, în Parisul secolului al 19-lea, să inventeze cuvântul vaccin, însă un vaccin ca al lui Jenner nu putea fi întotdeauna realizat. Pentru puține boli virulente există corespondent la vaci, astfel încât să se poată obține vaccinuri inofensive. În experimentele sale cu holera și rabia, Pasteur a folosit în premieră strategia fabricării unor versiuni inofensive ale agenților cauzatori de boli, sau ale componentelor ori produselor lor, ce ar putea fi suficiente pentru antrenarea sistemului imunitar în lupta împotriva formelor virulente.

În secolul al 20-lea s-au produs numeroase vaccinuri împotriva multor boli umane și animale. Nu au fost disponibile la timp pentru a preveni gripa spaniolă din 1918, în urma căreia au pierit mai mulți oameni decât în primul război mondial. Și în ciuda succeselor ulterioare asupra difteriei, tuberculozei și a poliomielitei, cei care cunoșteau istoria epidemiilor au avertizat în privința unei amenințări mereu prezente. Paraziții, bacteriile și virusurile noi sau mutante,

probabil incubate în animale, erau pasibile de o răspândire rapidă, purtate de călători intercontinentali.

Tocmai când variola fusese eradicată din lume, a apărut ca la un semn sindromul imunodeficienței dobândite (SIDA). A fost un șoc deoarece, ca și ciurma, SIDA atacă însuși sistemul imunitar. La scurt timp după aceea, un tip complet nou de agent infecțios – prionul – a fost găsit responsabil de producerea a numeroase boli. Printre acestea se numără kuru, boală care îi afectează pe canibali, și forma umană a bolii vacii nebune apărută pentru prima oară la o națiune inconștientă care și-a transformat vacile în animale carnivore.

Au ieșit la lumină și defectele sistemului imunitar. Imunodeficiența naturală poate fi rezultatul unui defect ereditar care face ca respectivul copil să fie vulnerabil la infecții. Pe de altă parte, reacțiile exagerate ale sistemului imunitar la substanțele obișnuite cauzează alergii, ca de exemplu rinita alergică provocată de polen. Iar când corpul se întoarce împotriva lui însuși, rezultatul poate fi artrita reumatoidă, scleroza multiplă sau altă afecțiune din lungul șir al bolilor autoimune.

Sistemul imunitar ce funcționează normal, respingând substanțele străine, a constituit un impediment în chirurgia transplanturilor. S-a investit mult în testele de compatibilitate a țesuturilor și în medicamentele imunosupresoare pentru reducerea riscului respingerii organelor transplantate. Pentru toate aceste motive, cercetarea sistemului imunitar a devenit o temă științifică majoră, care i-a preocupat atât pe biologi, cât și pe cercetătorii clinicieni. Lupta dintre animale și boli a continuat timp de sute de milioane de ani și a dus la apariția unor mecanisme de apărare complexe, la fel de subtile și de ingenioase precum ochiul sau creierul.

● Cum a înfruntat puricele-de-apă sporii bacterieni

În jurul anului 1900, biologii știau două lucruri contradictorii despre sistemul imunitar. Primul dintre ele se referă la anticorpii asociați în special cu numele lui Paul Ehrlich de la Frankfurt. Aceștia erau substanțe eliberate în fluidele din organism, ca reacție la apariția unui microb sau a unei otrăvi – un antigen, cum îl numim astăzi. Fiecare anticorp era precis adaptat pentru combaterea unui singur intrus. Natura lor fizică și chimică era necunoscută, însă anticorpii păreau a da un aspect cvasi-molecular binecunoscutului fenomen al imunității dobândite.

Al doilea contrazicea ideile anterioare. Până la sfârșitul secolului al 19-lea, celulele albe din sânge erau considerate ostile sănătății, deoarece apăreau în număr mare în inflamații și în puroiul din rănilor septice. Privind retrospectiv, ar fi ca și cum am crede că pompierii au cauzat incendiul pentru că îi întâlnim atât de des la locul faptei.

O așchie mică de lemn lăsată în deget poate cauza inflamații și supurații. În 1883, Ilya Metchnikoff, un om de știință ucrainean care își desfășura activitatea la Messina, a observat același efect la larvele stelei-de-mare scandinave (*Bipinnaria*). Acestea erau transparente, destul de mari pentru a realiza operații asupra lor

și rămâneau în viață în timp ce erau studiate la microscop. Metchnikoff a înfipt așchii ascuțite în ele și, în 24 de ore, a observat că un număr mare de celule albe din sânge migrează și formează câte un manșon în jurul fiecărei așchii.

Convins că urmărea sistemul imunitar în acțiune, a examinat la alte creaturi transparente o infecție cu spori microbieni, pe tot parcursul ei. La puricele-de-apă, *Daphniae*, care este de fapt un crustaceu, sporii ingerați au pătruns prin peretele intestinal. Celulele mobile s-au adunat în jurul lor.

„Are loc o luptă între cele două elemente”, a spus Metchnikoff. „Uneori, sporii reușesc să se înmulțească. Sunt produși microbi care secretă o substanță ce dizolvă celulele mobile. Astfel de cazuri sunt în general rare. Mult mai des se întâmplă ca celulele mobile să omoare și să digere sporii, și astfel să asigure imunitatea organismului.”

Experimentele făcute pe iepuri și pe porcii de Guineea au arătat o mobilizare similară a corpusculilor albi la animalele vaccinate expuse unei boli. Corpusculilor care digeră spori, Metchnikoff le-a dat numele de celule mănăitoare sau fagocite. „Această teorie a fost contestată de nume sonore din domeniul științei”, a remarcat el. Chiar și după ce nu a mai putut fi contestată, au trebuit să treacă multe zeci de ani pentru ca biologii să înțeleagă pe deplin cum era posibil ca ambele teorii – teoria celulară a lui Metchnikoff și teoria anticorpilor a lui Ehrlich – să fie corecte.

● O ierarhie militară

Să relatăm acum pas cu pas cum a fost înțeleasă complexitatea sistemului imunitar ar însemna să-l torturăm pe cititor cu toate dilemele prin care au trecut biologii. În anul 2000, tabloul general al componentelor sistemului imunitar al mamiferelor părea destul de complet și logic. Fagocitele sunt doar unul dintre tipurile de celule albe, sau limfocite, care aprovizionează cu soldați armata ce asigură imunitatea.

Corpul uman reunește un milion de milioane de limfocite, de 10 ori mai multe decât numărul celulelor nervoase din creier. Masa lor totală este de aproximativ 600 de grame. Puțin mai mult decât pfundul de carne al lui Shylock, aceasta este măsura efortului nostru inconștient de a ne apăra.

Produse de măduva osoasă, limfocitele călătoresc prin tot organismul pe două căi care se intersectează. O cale este prin vasele de sânge obișnuite, și alta printr-o rețea specială de vase limfatice care transportă limfă transparentă. Un tip de limfocite, numite celule B, produc anticorpii. Aceștia sunt molecule în formă de Y, care dețin regiuni active la capetele celor două brațe scurte ale sale. Deși o parte dintre anticorpi rămân atașați de celulele B care le-au produs, majoritatea patrulează ca molecule libere prin sânge și limfă. Deci Ehrlich avea dreptate.

Metchnikoff a fost reabilitat tocmai de unul din modurile în care acționează anticorpii. Atașându-se de un microb, îl marchează pentru a fi mâncat de fagocite, o

clasă de limfocite ce poartă astăzi numele de macrofage. Însă acțiunile atât ale anticorpilor cât și ale limfocitelor s-au dovedit a fi mult mai complicate și mai minunat orchestrate. Unii anticorpi atacă ei înșiși elementul străin cu ajutorul altor proteine speciale care circulă în sânge. Alții opresc virusurile ce încearcă să pătrundă în celulele sănătoase.

Anticorpii liberi care circulă prin sânge și limfă reprezintă o primă linie de apărare. Un răspuns imunitar complet presupune mai întâi ca un anticorp, încă atașat de celula B care i-a dat naștere, să țină sus ca pe un trofeu un specimen al antigenului, intrusul din afară. Într-un loc de întâlnire adecvat, probabil într-unul din ganglionii limfatici presărați prin tot corpul, un alt tip de limfocit – o celulă T CD4 – poate permite celei B să înceapă producția în masă a anticorpului său.

Celulele T CD4 (adesea numite și celule T4) se maturizează complet în timus, situat în partea superioară a pieptului, din unele dintre limfocitele produse de măduva hematopoietică. Sunt prevăzute pe suprafață cu receptori de tipul anticorpilor, special formați pentru a distinge celulele sănătoase ale propriului organism de cele infectate sau de cele străine. În afară de funcția de activare a celulelor B selectate, celulele T CD4, pot comanda, de asemenea, formarea celulelor ucigașe T CD8 de către timus, celule care pornesc să găsească și să distrugă celule infectate.

În 1983, descoperitorul virusului SIDA, Luc Montaigner de la Institutul Pasteur din Paris, a confirmat ceea ce clinicienii bănuiau deja, și anume că SIDA atacă celulele T CD4. El a comentat: „Consecințele sunt dezastruoase, deoarece celulele T4 sunt celulele cartierului general pentru sistemul imunitar”.

Mai târziu a devenit limpede că aceste celule T CD4 nu erau proprii lor stăpâni. Erau, într-adevăr, celulele cartierului general, însă reacționau conform informațiilor adunate de o altă clasă de limfocite, numite celule dendritice. La prima vedere acestea seamănă cu fagocitele lui Metchnikoff, deoarece circulă prin tot organismul, recunosc și înghit agenții patogeni. Dar când sunt copleșite numeric printr-un atac greu, își schimbă rolul și transportă mostre ale agenților patogeni, ca antigene, la cartierul general. Aici informează celulele T CD4 pentru a activa celulele B să producă în masă anticorpii adecvați.

● Anticorpi de gata

Cum face față sistemul imunitar unei varietăți aparent infinite de antigeni invadatori, de la virusuri la țesuturile altor persoane sau chiar materiale artificiale? Răspunsul la această întrebare era, în prima jumătate a secolului al 20-lea, învăluit în mister. Este sistemul imunitar asemenea unui magazin unde se vând haine de gata? Cu alte cuvinte, avem oare o gamă preexistentă de anticorpi pe care agenții patogeni îi probează alegându-și astfel proprii lor inamici? Sau este sistemul imunitar un croitor la comandă care ia munca de la capăt de fiecare dată când apare un client nou și creează un anticorp care să i se potrivească?

Spre surprinderea multora, tot ce-i de gata e și ce-i mai bun. Ehrlich schițase deja această ipoteză în 1900, însă avea și îndoieli. De ce, de exemplu, să fi fost echipate animalele din regiunile temperate cu anticorpi pentru boli ce nu pot fi întâlnite decât la tropice?

În anii 1930, ideea căzuse în dizgrație, însă Niels Jerne de la Institutul de Seruri din Danemarca a readus-o la viață, în 1950. Macfarlane Burnet de la Institutul Walter și Eliza Hall din Melbourne au dezvoltat apoi ipoteza „anticorpilor de gata” în mod incisiv. În teoria selecției clonale a lui Burnet, agentul ostil, antigenul, își alege singur anticorpul, pe care un clon din celule adecvate îl produce din belșug.

Aceasta este acum o teorie fundamentală în imunologie. Și totuși în acel an – 1957 – prejudecățile față de o asemenea concepție erau încă atât de puternice încât Burnet s-a văzut nevoit să-și publice teoria în *Australian Journal of Science*. El a mărturisit în autobiografia sa: „Dacă, Doamne ferește, conceptul selecției clonale ar fi fost ceva extrem de greșit, publicarea într-o revistă australiană necunoscută ar fi însemnat că foarte puțini oameni din America sau din Anglia și-ar fi dat seama.”

Sistemul imunitar produce în mod continuu multe milioane de anticorpi diferiți. un microb invadator, sau alt antigen, întâlnește curând un anticorp specific care se atașează de el. În termeni moleculari, o parte a antigenului intră într-un spațiu gol, activ din punct de vedere chimic, al anticorpului, la fel ca o cheie într-o broască. Nu contează care parte a antigenului este introdusă, și orice invadator are multe proeminențe și subunități chimice candidate. Astfel șansele de a găsi perechea potrivită cresc.

Un rezultat secundar al cercetării sistemului imunitar este o tehnică ce produce mari cantități de anticorp „monoclonal” selectat, într-un vas de sticlă. Inventat în 1975 de Georges Köhler din Germania și César Milstein din Argentina, la Laboratorul de Biologie Moleculară al Marii Britanii, procedeul constă în a combina limfocite extrase de la un șoarece expus la un antigen selectat cu limfocite canceroase. Celulele hibride rezultate continuă să producă anticorpul dorit în cantități mari. Anticorpii monoclonali au o gamă largă de utilizări pornind de la găsirea unor biomolecule specifice, din interiorul celulelor vii, până la țintirea celulelor canceroase cu anticorpi încărcăți cu o otravă care să le ucidă – denumită „ingineria anticorpilor”.

● Cărți de identitate pentru organisme

Numărul foarte mare și varietatea anticorpilor preexistenți din teoria selecției clonale au adus în prim-plan misterul „deschiderii focului asupra propriilor trupe”, menționat mai devreme. Sistemul imunitar trebuie să evite să-și atace propriul organism. Faptul că poate face acest lucru este dureros de clar în cazul bolilor autoimune. Mare parte din complexitatea sistemului imunitar provine din

necesitatea de a distinge întotdeauna celulele și țesuturile propriului corp de cele ale invadatorilor străini. Specialiștii numesc aceasta discriminarea propriu-străin.

Sângele a jucat un rol important în revelarea modului în care se realizează acest proces. O transfuzie de sânge greșită te poate ucide printr-o aglomerare fatală a celulelor roșii din sânge. Karl Landsteiner a distins grupele de sânge A, B, AB și O în anul 1909 la Viena, și factorul rhesus, în anul 1940 la Institutul Rockefeller din New York. Însă s-a dovedit că deși pacienții primeau sânge din grupa și din tipul rhesus corespunzătoare, sistemele de apărare ale organismelor lor reacționau împotriva celulelor albe străine. De asemenea, femeile însărcinate produceau anticorpi împotriva celulelor albe ale fătului.

În anul 1954, Jean Dausset de la Paris a identificat primul dintr-un set de markeri moleculari numit sistemul antigenelor leucocitare umane HLA. Aceștia acționează ca antigene în corpul unei alte persoane și determină anticorpii să reacționeze împotriva lor. Cercetarea ulterioară desfășurată în Europa și în Asia a arătat că fiecare dintre noi avem două versiuni ale celor șase gene HLA și că sunt disponibile multe variante ale fiecăreia – câteva sute în unele cazuri. Cu excepția gemenilor identici și, ocazional, a unor frați sau surori, este imposibil ca doi indivizi să aibă aceeași combinație HLA. Aceste gene comandă producerea structurilor glicoproteice (CMH), situate pe suprafețele tuturor celulelor corpului.

„Funcția esențială a acestei structuri este autorecunoașterea”, a afirmat Dausset. „Aceste structuri sunt, de fapt, cartea de identitate a întregului organism.” Ele sunt și cauza respingerii țesuturilor sau organelor transplantate. Acesta sunt eu, dar acesta ești tu și sistemul meu imunitar știe foarte bine acest lucru.

La Leiden, Jon van Rood a fost primul care a folosit testele de histocompatibilitate HLA cu scopul de a găsi donatori de organe cât mai compatibili cu receptorii. Acestea au permis realizarea cu succes a transplanturilor de rinichi și de alte organe, chiar dacă au trebuit să treacă încă 30 de ani până când sistemul HLA a fost complet descifrat.

Biologii moleculari au intervenit. Ei au început munca dificilă de transpunere a sistemului imunitar într-o colecție de gene în continuă creștere, pe măsură ce erau identificate, de proteine a căror producere era comandată de acestea și de puncte de control genetic care activau genele corespunzătoare și le suprimau pe cele nedorite. La începutul anilor 1960, Rodney Porter de la Cambridge a reprezentat în mod corect moleculele de anticorpi ca structuri în formă de Y. La mijlocul anilor 1980, genele responsabile de producerea anticorpilor erau cunoscute, împreună cu genele extrem de variabile ale sistemului HLA de autorecunoaștere, care la om sunt concentrate în cromozomul 6.

Una era să știi câte ceva despre markerii propriu-străin, și cu totul altceva să spui cum îi folosește sistemul imunitar pentru a evita greșelile. În 1985, un tânăr doctorand din Melbourne, Christopher Goodnow, a început să facă experimente pe șoareci modificați genetic, pe care le-a continuat la Sydney, la Stanford și la

Canberra. El a identificat puncte de control în care se ia decizia fie de a continua o reacție imună, fie de a instrui celulele B și T implicate să-și înceteze activitatea sau să moară.

La sfârșitul secolului, scorul calculat de Goodnow și de alții ajunsese la 11 astfel de puncte de control pentru celulele B și 6 pentru celulele T, fiecare activat de câte o genă diferită. Însă în sistemul imunitar sunt implicate mii de gene și înaintarea cu aproximativ o genă pe an era ca și mersul pedestru comparativ cu ritmul proiectelor pe atunci în desfășurare, de citire a tuturor genelor din genomul uman și din genomul de șoarece. Iată ce l-a determinat pe Goodnow să construiască ferma de șoareci din Canberra și să producă mutații în fiecare genă de șoarece.

„Genomul de șoarece este o listă de părți din care este alcătuit un șoarece”, a spus el. „Șoarecele mutant ne va da o sublistă a tuturor genelor implicate în sistemul imunitar, unde operează și ce anume fac ele. Dar încă avem nevoie să proiectăm experimente ingenioase pentru a determina cu exactitate cum se potrivesc părțile între ele pentru a controla răspunsurile imune. Vom avea mult de lucru, căci Natura face orice pentru a evita greșelile fatale.”

● Arme de ambele părți

Să nu vă imaginați că microbii care ne atacă sunt naivi și nu știu nimic despre sistemul imunitar sau sunt luați prin surprindere de ambuscadele acestuia. Bolile și sistemele de apărare ale plantelor și animalelor au evoluat împreună timp de sute de milioane de ani, într-o competiție moleculară neîntreruptă. Așa cum un avion militar transportă arme ce au drept țintă radarul inamic și semnale luminoase care distrag atenția rachetelor cu sistem de ghidare pe baza emisiei de căldură, tot așa agenții patogeni au strategiile lor de a păcăli sistemul imunitar. Atacul direct al virusului SIDA asupra celulelor T CD4 este doar un exemplu.

Cât despre apărare, unii teoreticieni ai evoluției cred că reproducerea sexuală este metoda cea mai utilizată de plante și animale, deoarece amestecarea nesfârșită a genelor reprezintă cea mai bună strategie de combatere a bolilor. Diferențele genetice dintre indivizi ar trebui să justifice în cele din urmă de ce atât de des o infecție fatală pentru o persoană poate fi efectiv inofensivă pentru o alta. Dar rețineți, de asemenea, că un agent patogen prea eficient, care și-a ucis toate gazdele, va pieri până la urmă din lipsă de alte victime.

Cunoștințele acumulate despre armament și despre interacțiunea gazdă-agent patogen deschid un nou capitol în științele biologice. Tehnicile de laborator au evoluat astfel încât lupta împotriva microbilor poate fi urmărită în timp real, observându-se ce gene intră în acțiune în celulele sistemului imunitar. Partea mai dificilă este să îți dai seama care gene acționează corect și care se comportă greșit din cauza unei contramăsuri a invadatorului.

Importanța acestei probleme a fost confirmată o dată cu apariția cipurilor genetice. Acestea sunt dispozitive ce pot verifica în materialul din celule prezența,

absența sau activarea a mii de gene simultan. La Institutul Whitehead de Cercetare Biomedicală din Massachusetts s-au folosit pentru prima dată astfel de cipuri pentru a se descoperi unele dintre secretele activității iscoadelor și spionilor sistemului imunitar, celulele dendritice care culeg informații.

Experimentatorii au expus culturi de celule dendritice umane la trei agenți patogeni, pe rând. Aceștia erau niște specii ale bacteriei *Escherichia coli* ce colonizează intestinul și care provoacă toxiinfecții grave, banala ciupercă *Candida albicans* ce cauzează iritații orale sau vaginale și virusul gripei. Dintr-o gamă de 2 000 de gene dendritice detectate în cipuri, bacteria a activat nu mai puțin de 685, virusul-531 și ciuperca-289.

Printre acestea erau și 166 de gene activate de toți cei trei agenți, ceea ce înseamnă că ele aparțineau unui nucleu de răspunsuri imunologice generale și că probabil funcționau corect. O parte dintre celelalte puteau fi răspunsuri corecte, potrivite fiecărei clase și specii de microbi. Însă cercetătorii bănuiau că o mare parte din activarea genelor era un indiciu al faptului că atacatorul încerca să submineze funcționarea celulelor dendritice.

A afla care răspunsuri sunt în favoarea noastră și care în favoarea agenților patogeni părea un obiectiv greu de atins. Pentru Nir Hacohen, conducătorul echipei de cercetare de la Institutul Whitehead, starea de fapt a imunologiei la începutul secolului al 21-lea se rezuma la imposibilitatea găsirii unui vaccin contra virusului SIDA, HIV.

„Asta înseamnă”, a spus Hacohen, „că sunt multe aspecte ale sistemului imunitar pe care nu le înțelegem încă, chiar dacă uneori avem senzația că le înțelegem. Am avut noroc cu vaccinurile până acum. Au dat rezultate neașteptat de bune, având în vedere ignoranța noastră în ceea ce privește procesul. Într-o bună zi vom deveni un pic mai deștepți și vom putea realiza vaccinuri optime, chiar și pentru agenții patogeni noi. Dar suntem încă departe.”

● Strănutul spațial

În timpul misiunii Apollo pe Lună, în jurul anului 1970, s-a descoperit că astronauții aveau un număr redus de celule albe cu rol în apărarea organismului. Forța gravitațională este cumva implicată în funcționarea sistemului imunitar. Când astronauții strănută în spațiu, numărul de virusuri din ploaia de stropi este mult mai mare decât pe Pământ, deși nu există alte simptome de infecție. Cosmonauții de pe stația spațială rusească Mir, testați cu toxine dispuse pe piele, au făcut iritații care n-ar fi apărut la sol. Sistemul imunitar revine la normal după aproximativ două săptămâni de la întoarcerea acestora pe Pământ.

Multe observații și experimente realizate în spațiul cosmic au încercat să găsească explicația fizică a fenomenului și să evalueze influența zborurilor spațiale prelungite asupra sănătății. Apare problema separării efectelor stării de imponderabilitate de alți factori ce ar putea influența sistemul imunitar, inclusiv stresul, izolarea

într-un spațiu închis, dereglarea ceasului biologic și radiația cosmică. Ultimul factor a fost exclus din lista celor importanți, cel puțin din punct de vedere al comportamentului limfocitelor, într-un balon de mare înălțime, unde au fost expuse razelor cosmice celule T aflate încă sub influența gravitației terestre.

Experimentul cu balonul a fost premergător experimentelor elvețiene începute în 1983, în Laboratorul Spațial European transportat de o navetă spațială NASA. Proiectate de Augusto Cogoli și colaboratorii săi de la Universitatea Politehnică ETH din Zürich, experimentele constau în introducerea unor molecule ce simula prezența unui antigen în culturi de celule T. Răspunsul în starea de imponderabilitate coborâse cu aproximativ 90%, comparativ cu performanța acelorași culturi în centrifuga din Laboratorul Spațial, ce simula gravitația normală.

Pentru a urmări până la capăt acest rezultat dramatic, specialiștii elvețieni în biologie spațială au folosit rachete de sondare lansate de la Kiruna din Suedia. Începând din 1989 și continuând până în noul secol, fiecare dintre aceste zboruri a oferit 10 minute de imponderabilitate. Un microscop controlat de la sol a arătat că, în 30 de secunde de la declanșarea imponderabilității, celulele T și-au modificat structurile lor interne, una dintre proteine formând fascicule neobișnuite. Și cu toate că antigenul simulator s-a atașat de celulele T în mod corespunzător, reacțiile ulterioare au fost lente, comparativ cu cele ale celulelor supuse acelorași teste la sol.

„Un efect asupra celulelor atât de mare și rapid ne-a surprins”, a spus Cogoli. „Acum trebuie să aflăm și mai detaliat ce efect are lipsa gravitației asupra sistemului imunitar și cum evităm consecințele nefaste în timpul zborurilor spațiale de lungă durată. Este într-adevăr o chestiune destul de importantă, dat fiind că nu există spitale pe Marte.”

Notă: acesta e un subiect unde prescurtările specialiștilor sunt mai puțin respingătoare decât denumirea completă. În ceea ce privește cartea de identitate a celulelor, HLA înseamnă antigen leucocitar uman, iar CMH – complex major de histocompatibilitate. Numele oficial al cipului genetic este microdispozitiv oligonucleotid.

- **Vezi și VARIOLA și MOARTEA CELULEI. Pentru rolul bolilor în evoluție, vezi CLONAREA și BOLILE PLANTELOR.**

Indicator
Indicator
Indicator
Indicator

SISTEMUL PĂMÂNTULUI



LA JUMĂTATEA ANILOR 1980, FRANCIS BRETHERTON, un specialist britanic în dinamica fluidelor, era președintele Comitetului Științific al Sistemului Pământului din cadrul NASA. El a reprezentat printr-o diagramă sistemul Pământului. Aceasta era alcătuită din casete și linii care le legau, asemănător schemei unui circuit electric, și indica acțiunile și reacțiunile din fizica, chimia și biochimia regiunilor fluide exterioare ale planetei noastre. În stânga diagramei erau Soarele și vulcanii, ca agenți naturali externi ai schimbării, iar în dreapta se afla omul, care influențează și este totodată influențat de sistemul Pământului.

Mai simplu spus, sistemul Pământului este alcătuit din rocă, sol, apă, gheață, aer, viețuitoare și oameni. Soarele și căldura din interiorul Pământului furnizează energia necesară întregului mecanism terestru. Diferitele sale componente interacționează în moduri complicate, adesea enigmatice. Dar noile capacități ale sateliților și ale rețelelor globale de stații de suprafață de a monitoriza schimbările, precum și ale computerelor de a crea modele de interacțiuni complexe, de tipul celor folosite pentru prognozele meteo, au dat speranțe că această complexitate va putea fi controlată.

În 1986, Consiliul Internațional al Sindicatelor Științifice a inițiat Programul Internațional pentru Geosferă și Biosferă, prescurtat uneori Global Change (Schimbare globală). A urmat o agendă încărcată de lansări de sateliți cu misiunea de a monitoriza Pământul, au fost folosite numeroase calculatoare performante și, până în 2001, numai în SUA s-au investit 18 miliarde de dolari în cercetarea schimbării globale. În 2002, la Institutul pentru Științele Pământului din Yokohama a intrat în funcțiune cel mai puternic calculator din lume, în calitate de „simulator al Pământului”.

O dată cu aceasta au apărut și dificultățile. Cele mai bune modele de calculator se refereau la predicții climatice și, pe măsură ce se adăugau tot mai mulți factori din sistemul complex al Pământului pentru a apropia modelele de realitate, au apărut mai multe erori și rezultate contradictorii – *vezi SCHIMBĂRILE CLIMATICE*. Factorul cel mai important părea a fi dioxidul de carbon generat de activitățile omului, dar existau incertitudini referitoare la dispariția a circa jumătate din cantitatea totală prin căi de scurgere neidentificate – *vezi CICLUL CARBONULUI*.

Cele mai spectaculoase rezultate de monitorizare au fost obținute prin studierea vegetației cu ajutorul sateliților, dar și aici erau probleme cu crearea unui model – *vezi BIOSFERA DIN SPAȚIU*. Există încă îndoieli în legătură cu alte componente ale sistemului Pământului. Monitorizarea și modelarea suprafețelor acoperite de gheață au dat răspunsuri care păreau contradictorii câteodată – *vezi CRIOSFERA*. Rolul-cheie al oceanelor ca sistem de încălzire centrală a planetei ridică încă o întrebare fundamentală în privința cauzelor care determină circulația apei oceanice – *vezi CURENȚII OCEANICI*.

Prognoza schimbărilor periodice din estul Oceanului Pacific care au efecte globale s-a dovedit a fi, de asemenea, dificilă – *vezi EL NIÑO*. Din interiorul nu tocmai solid al Pământului erup vulcanii, care sunt totodată surse vitale de oligoelemente esențiale pentru viață, cât și factori imprevizibili ai sistemului climatic al Pământului – *vezi EXPLOZIILE VULCANICE*.

Un alt aspect incomod pentru specialiști este descoperirea continuă de noi conexiuni. Un exemplu timpuriu din istoria științei sistemului Pământului este rolul algelor marine în calitate de surse pentru particulele de sulfați din aer – *vezi ENZIMELE GLOBALE*. Ulterior s-a sugerat că radiația cosmică din galaxie este implicată în formarea norilor – *vezi LUMINA PĂMÂNTULUI*. Eforturile uriașe făcute de SUA, Europa, Japonia, precum și de alte țări în cadrul programelor de studiere a schimbărilor globale vor contribui fără îndoială la dezvoltarea cunoștințelor despre sistemul Pământului, dar o descriere complexă și temeinică a acestuia printr-un singur model realizat de calculator rămâne totuși un vis îndepărtat.



SPARTICULE

Fantastica superlume a materiei și a forțelor exotice

AȘA-I CĂ-I PREA FRUMOS CA SĂ NU FIE ADEVĂRAT?", a întrebat Maurice Jacob, teoretician la CERN, Laboratorul European de Fizica Particulelor din Geneva. El se referea la o teorie intitulată Marea Unificare, ce promitea să cuprindă toate particulele de materie, ușoare și grele, și majoritatea forțelor care acționează asupra lor. În versiunile avansate ale teoriei apare o caracteristică numită supersimetrie, care necesită existența unor particule nedetectate anterior. Ele sunt numite generic particule supersimetrice sau, pe scurt, sparticule.

Anumite caracteristici favorabile ale Universului, fără de care existența noastră ar fi imposibilă, au devenit explicabile prin Marea Unificare. De exemplu, de ce există materie neutră din punct de vedere electric. Dacă sarcinile pozitive și negative nu ar fi într-un echilibru perfect, materia ar exploda, iar stelele și planetele nu s-ar putea forma. Teoria asigură acest aspect și, în același timp, permite materiei să nu fie neutră în comparație cu antimateria. Dacă proporțiile materiei și ale antimateriei ar fi la fel de echilibrate ca și cele ale sarcinilor electrice, acestea s-ar fi anulat reciproc, lăsând Universul vid.

Pentru a înțelege Marea Unificare, mai întâi trebuie să rețineți că materia obișnuită este alcătuită din două familii de particule. Una constă în șase tipuri de particule grele, quarcii, care alcătuiesc nucleeele atomilor. Cealaltă este familia electronilor, de asemenea cu șase particule, printre care doi electroni grei și trei neutrini fantomatici. În cadrul fiecărei familii, fiecare particulă se poate transforma în oricare alta prin acțiunea alchimistului cosmic numit „forță slabă”. Într-adevăr, numărul transmutațiilor posibile fixează numărul particulelor în familiile quarcilor și electronilor.

O teorie generală a particulelor care s-a dezvoltat în anii 1970 este cunoscută acum sub numele de Modelul Standard. Acesta descrie relațiile din cadrul familiei quarcilor și al familiei electronilor, dar menține cele două familii complet distincte. Conform acestei teorii, un quarc nu se poate transforma într-un electron, de exemplu. Unul dintre scopurile Marii Unificări este să creeze o familie extinsă de particule care să cuprindă atât quarcii, cât și electronii.

Un alt scop în strânsă legătură cu acesta este unificarea forțelor care acționează asupra particulelor: forța electrică, forța slabă alchimică și forța tare care asigură

legăturile în materia nucleară. Modelul Standard unifica forța electrică cu cea slabă, dar lăsa deoparte forța nucleară tare. Marea Unificare urma să șteargă distincția între toate aceste forțe. În condiții de temperaturi foarte înalte, forța slabă se presupune că devine mai tare, iar forța tare mai slabă, astfel încât ambele converg împreună cu forța electrică într-o unică forță subatomică ideală.

Problema echilibrului dintre sarcinile electrice pozitive și negative poate fi soluționată dacă există o suficientă asemănare între quarci și electroni pentru a asigura distribuirea corectă a sarcinilor între ei. Dezechilibrul dintre materie și antimaterie poate avea sens în cadrul Marii Unificări, dacă crearea particulelor se petrece atât de rapid într-un univers în expansiune încât nu este timp pentru a corecta micul deficit din proporția antiparticulelor.

● Va dispărea materia?

Noțiunile preliminare referitoare la Marea Unificare existau în germene încă din anii 1970. Printre teoreticienii implicați se aflau și cei care avuseseră contribuțiile cele mai importante la elaborarea Modelului Standard. Printre ei se numărau Sheldon Glashow și Steven Weinberg de la Harvard, precum și Abdus Salam și Jogesh Pati de la Centrul Internațional pentru Fizică Teoretică din Trieste. În 1973, Salam și Pati au făcut cea mai zguduitoare predicție a unei teorii unificate, și anume că materia din Univers ar trebui să se autodistrugă.

Dacă cele două familii de particule sunt suficient de asemănătoare, în Marea Unificare, quarcii ar trebui să se poată transforma în electroni. Prin urmare, protonul, particula nucleară fundamentală cunoscută mai ales ca nucleul atomului de hidrogen, nu ar trebui să fie nemuritor. Andrei Saharov din Moscova a adus în discuție această posibilitate în 1967, dar nu a avut o teorie detaliată pentru susținerea acesteia.

Protonul ar trebui să se descompună într-un antielectron, numit pozitron. Acea particulă va găsi apoi un electron obișnuit și se vor anihila reciproc, așa cum fac particulele și antiparticulele, dispărând într-un nor de raze gama. Adio, atomi!

Descompunerea protonilor ar încălca o apreciată lege fundamentală a științei, legea conservării materiei. Fiica lui Salam a fost avertizată de o profesoară să nu susțină o idee atât de nonconformistă la examenele ei, indiferent de ce ar spune faimosul ei tată. Fizicienii specialiști au avut și ei nevoie de muncă de lămurire.

„Deși comunitatea teoreticienilor era destul de rezistentă la astfel de idei în acel moment”, își amintea Pati mai târziu, „bariera psihologică împotriva acestora s-a atenuat de-a lungul anilor. Interesul sporit pentru perspectiva unei astfel de descompuneri a dus astfel la construirea detectoarelor de dezintegrare protonică în diferite părți ale lumii”.

Descompunerea protonilor nu poate avea loc foarte rapid, căci altfel stelele și planetele nu ar fi supraviețuit atât de mult. Cele mai simple calcule ale Marii Unificări

au prezis că jumătate din protonii din Univers se vor descompune în aproximativ o mie de miliarde de miliarde de miliarde de ani, comparativ cu aproximativ 13 miliarde de ani, vârsta Universului de până acum. La această rată de dezintegrare, am putea observa câțiva protoni descompunându-se anual dacă ar fi să urmărim trilioanele de protoni prezenți într-un bazin cu apă de dimensiuni medii.

Trecând deja de la observatoarele de radiație cosmică amplasate pe vârfurile munților la acceleratoarele amplasate pe câmpii, specialiștii în fizica particulelor i-au urmat apoi pe mineri adânc în subteran. Acolo au putut desfășura experimente de dezintegrare a protonilor cu o influență cât se poate de mică din partea radiației cosmice. Într-un prim experiment, realizat la 900 de metri sub pământ într-o mină de sare din Ohio, s-au folosit 5 000 de tone de apă și peste 2 000 de detectoare care urmăreau să înregistreze fascicule de lumină ce ar fi indicat dezintegrarea protonilor.

Experimentul a eșuat. La sfârșitul secolului, cercetătorii din Ohio, din Japonia și din alte zone nu erau doar dezamăgiți. Ei dovediseră că protonii se dezintegrează, în cazul în care fac aceasta, de cel puțin o mie de ori mai lent decât prevedeau cele mai simple extensii ale Modelului Standard, deci aceste teorii erau evident eronate.

● În căutarea unor noi particule

Versiunile Marii Unificări numite supersimetrice puteau tolera longevitatea protonului. Simetria este un concept matematic folosit de fizicieni pentru a descrie relațiile dintre familiile de particule și forțe, iar supersimetria este un model atotcuprinzător care permite de asemenea existența unor particule ce nu sunt disponibile în Modelul Standard.

Supersimetria a devenit binecunoscută printre fizicieni. Precum o cheie a unei grădini magice, ea i-a invitat în superlumea crepusculară a sparticulelor – alcătuită din materie și din forțe exotice care interacționează destul de redus cu lumea noastră. Supermateria nu este influențată de forțele obișnuite subatomice, iar superforțele nu afectează materia obișnuită. Sparticulele interacționează slab între ele deoarece particulele purtătoare de forță sunt masive și greu de controlat.

Materia din lumea obișnuită, descrisă de Modelul Standard, constă în particule care se rotesc într-un anumit fel care le diferențiază de particulele purtătoare de forță care, dacă se rotesc, o vor face într-un mod diferit. În Marea Unificare prin supersimetrie se presupune că particulele au un fel de „umbre” (sau imagini reflectate), care au o mișcare de rotație de sens contrar celei a particulelor. Astfel, electronilor și quarcilor, particule de materie, li se asociază superelectroni și superquarci, care sunt purtători de forță. Acestea sunt sparticulele numite selectroni și squarci.

La rândul său, supermateria corespunde purtătorilor de forță obișnuiți. Particulele la care ne referim includ fotonii, umbre ale particulelor de lumină, fotonii, care sunt purtători ai forței electrice. Gluinii sunt superechivalenții

gluonilor, care fac legătura între quarci și protoni. Cum sparticulele dublează lista particulelor acceptate de Modelul Standard, ar fi dificil să le enumerăm aici toate numele individuale.

Dar nu ar fi dificil să le găsim! Pentru tinerii fizicieni care își făceau griji că le vor rămâne puține lucruri de descoperit în secolul al 21-lea pentru a egala mulțimea de particule subatomice a generațiilor anterioare, superlumea era ademenitoare. Dornici de indicii că ea ar putea fi reală, ei au așteptat să apară inconsistențe în Modelul Standard.

În timp ce dezintegrarea protonilor s-a dovedit a dura foarte mult, în 1998 au apărut dovezi în Japonia cum că materia obișnuită, sub forma neutrinilor fantomatici, se transformă dintr-o varietate în alta în modalități ce nu sunt direct permise de Modelul Standard. Acest lucru suna promițător, deși în sine nu era un argument în favoarea supersimetriei.

Între timp, diverse experimente din lumea întreagă căutau sparticule care puteau fi prezente în misterioasa materie neagră. Aceasta este materia neidentificată despre care se știe că se află răspândită în întreg Universul, datorită forței sale gravitaționale care acționează asupra stelelor și a galaxiilor. Cele mai ușoare sparticule, numite neutralini, fac parte din această materie neidentificată. Se crede că orice rezervă cosmică de altă supermaterie s-a dezintegrat în neutralini cu mult timp în urmă.

Dacă s-ar dovedi că materia neagră constă în totalitate sau în parte din sparticule, lucrul acesta ar fi foarte convenabil. Atunci Superuniversul nu ar fi în totalitate străin de Universul nostru. Dar ideea că gravitația acționează atât asupra materiei cât și a supermateriei impune ca Marea Unificare să fie extinsă pentru a include și forța gravitațională. Numele acestei teorii extinse este „Teoria tuturor lucrurilor” (Teoria finală – în engleză, Theory of Everything), și se bazează pe supersimetrie.

Idei în această direcție sunt din belșug. Majoritatea dintre ele necesită un spațiu invizibil cu mai multe dimensiuni matematice, dincolo de familiarele trei dimensiuni spațiale și una temporală. Teoria corzilor (stringurilor), cel mai popular candidat, descrie particulele ca fiind mici corzi ce vibrează într-un spațiu multi-dimensional. Detectarea sparticulelor i-ar da Teoriei corzilor (stringurilor) un impuls care-i este foarte necesar.

„În momentul de față supersimetria nu are o motivație experimentală solidă”, a afirmat Nathan Seiberg de la Institutul de Studii Avansate de la Princeton, în 1999. „Dacă va fi descoperită, acesta va fi unul dintre cele mai mari succese ale fizicienilor teoreticieni – să prevadă o noțiune atât de profundă fără vreo dovadă experimentală!”

Dacă însă presupunerile teoretice nu vor fi susținute de observațiile experimentale, scepticismul referitor la existența Superuniversului va începe să ia amploare. Cercetările sparticulelor de la Laboratorul Fermilab de lângă Chicago,

ce au durat cinci ani începând din 1996, au ajuns doar la concluzia că particula numită gluin, dacă există, trebuie să fie cel puțin la fel de grea ca un atom de plumb. A crea un astfel de gluin era peste capacitățile acceleratorului Tevatron al laboratorului.

Poate că următorul accelerator european, Marele Accelerator Hadronic (LHC – Large Hadron Collider), va începe să separe gluinii, squarcii și alte sparticule, atunci când va începe să funcționeze, în anul 2007. Poate că experimentele cu materie neagră vor pune în evidență neutralinii. În anii ce urmează, poate că descompunerea protonilor va putea fi în sfârșit observată. Sau poate că datele reale extrem de necesare vor veni de la radiația cosmică de energie foarte înaltă, care este în prezent singura speranță de a ajunge direct în mijlocul lumii fantastice unde toate forțele devin una singură.

Aceste posibilități erau doar aspirații pentru fizicienii specialiști în fizica particulelor, care au pășit în secolul al 21-lea băjbâind în întuneric. Din punct de vedere birocratic, situația era alarmantă pentru agențiile finanțatoare cărora li se cerea să acopere cheltuielile unor experimente costisitoare, al căror rezultat era imposibil de cunoscut. Dar pentru oamenii de știință care și-au păstrat convingerea că Mama Natură va renunța la încă un vâl și va scoate astfel la iveală Superuniversul, băjbâiala era totuși aducătoare de speranță.

„Marele Accelerator Hadronic LHC nu este un joc de noroc!”, a insistat Maurice Jacob. „Ceva trebuie să se întâmple în domeniul său de energii uriașe, chiar dacă nu putem spune cu exactitate ce anume.”

- *Pentru informații suplimentare referitoare la căutarea sparticulelor răspândite pretutindeni în Univers, vezi **MATERIA NEAGRĂ**. Pentru informații despre Modelul Standard, vezi **FORȚA ELECTOSLABĂ** și **FAMILIILE DE PARTICULE**. Informații despre primul său neajuns găsiți în **OSCILAȚIILE NEUTRINICE**. Pentru mai multe detalii despre Teoria tuturor lucrurilor (finală), vezi **SUPERCORZILE**.*



Despre muzică și distanțe

„O BIȘNUIAM SĂ NE AȘEZĂM PE SPATE și să privim cerul de deasupra noastră presărat cu stele, iar apoi discutam dacă acestea au fost create sau pur și simplu există.” Această frază aparține celebrului personaj al lui Mark Twain, aventurierul Huckleberry Finn, și amintește de vremurile îndepărtate când nu existau încă iluminarea stradală, ceasurile de mână sau sateliții de navigație, iar stelele erau prietenii tuturor. Ele nu numai că înfrumusețau cerul nopții și provocau reverii precum cea a lui Huckleberry, ci puteau totodată indica ora sau anotimpul propice înșămânțărilor, sau ghidau navigatorii spre Tahiti, de exemplu.

În zilele noastre, știința descoperă din ce în ce mai multe despre formele principale de materie vizibilă din cosmos. Stelele sunt cercetate mai atent ca niciodată, din observatoarele de pe vârfurile munților sau din navete spațiale ce orbitează pe cerul mereu întunecat al spațiului extraterestru. Din păcate pentru miliarde de muritori, lumina stelelor pălește datorită strălucirii iluminării electrice a orașelor într-atât încât nici nu se mai observă că steaua Betelgeuse este roșie.

Culorile au descifrat misterul luminilor pe cerul nopții. „O casetă plină cu pietre prețioase de diferite culori”, aceasta este denumirea pe care John Herschel din Cape Town a dat-o grupului de stele roșii, albe și albastre aflat lângă Crucea Sudului, și care acum se numește „Caseta cu bijuterii”, atunci când l-a observat în anii 1830. La începutul secolului al 20-lea, astronomul danez Ejnar Hertzsprung a remarcat că stelele cele mai strălucitoare din cea mai faimoasă grupare de stele – Pleiadele – erau toate albastre. Cele cu strălucire medie erau albe sau galbene, iar cele cu strălucirea cea mai slabă erau roșii. Cum toate aceste stele se aflau la aproximativ aceeași distanță de observator, a apărut ideea unei legături între luminozitate și culoare la stelele pitice obișnuite, termen ce desemnează toate stelele în perioada de înflorire a vieții, adică nici nou-născute, nici bătrâne.

De la acest început cromatic a evoluat teoria stelară modernă. Stelele albastre sunt mai masive și mai mari decât Soarele și au o durată de viață mai scurtă, pe când stelele roșii sunt mai ușoare, mai mici și au o durată de viață mai lungă. Excepție fac gigantele roșii cum ar fi Betelgeuse și Aldebaran, care luminează foarte intens deși sunt roșii, și stelele pitice albe cum ar fi Însoțitorul lui Sirius,

care are o intensitate slabă, deși e albastrui. În timp ce gigantele roșii sunt stele durabile care se apropie de sfârșitul vieții lor, piticele albe sunt rămășițe epuizate energetic ale stelelor. Dacă două stele se învârt una în jurul celeilalte, pe orbite bine definite, masele lor pot fi determinate.

În anii 1920, Arthur Eddington de la Cambridge a descris bătălia din interiorul stelelor, dintre presiunea interioară a gravitației și presiunea exterioară a radiației provenind de la un nucleu extrem de fierbinte. El a intuit că în miezul stelei au loc reacții nucleare în urma cărora se produce energie nucleară, dar a lăsat în seama altora misiunea de a înțelege cum decurg reacțiile de fuziune și de a explica transformarea stelelor în gigante roșii și în pitice albe, ca urmare a epuizării resurselor de hidrogen din nucleu, respectiv a heliului și a elementelor grele în reacțiile nucleare.

Micile variațiuni ale legăturilor dintre luminozitate și cromatică pe de o parte, și dintre masă și vârstă pe de altă parte, sunt cauzate de diferențele în compoziția chimică, după cum au indicat culorile spectrale caracteristice ale elementelor. În anii 1980, teoria stelelor părea destul de sigură. Apoi un satelit european numit Hipparcos (1989–1993) a declanșat o controversă aprinsă pentru că a determinat distanțele la care se află stelele mult mai precis decât se făcuse vreodată până atunci.

Pleiadele – da, chiar Pleiadele lui Hertzsprung! – erau cu 10% mai aproape decât se crezuse că ar fi, ceea ce însemna că sunt cu 20% mai puțin luminoase decât reieșea din calculele standard. Această discrepanță imensă i-a surprins în așa măsură pe teoreticieni încât unii dintre ei au susținut că măsurătorile lui Hipparcos trebuie să fie greșite. „După ce le-am verificat de mai multe ori”, a insistat Floor van Leeuwen de la Cambridge, „sunt sigur că Hipparcos ne-a furnizat rezultatele corecte. Așa că nu mai folosiți teorii vechi pentru a „corecta” datele noi. Haideți să construim teorii mai bune.”

Analiza luminii vizibile și infraroșii de la Pleiade a confirmat totuși vechea distanță, mai mare, iar în 2004 van Leeuwen a admis că s-a strecurat o greșeală. Numărul total de stele strălucitoare din grupare a încurcat calculul, aici și în alte regiuni ale cerului. Controversa a ilustrat importanța verificării teoriilor prin măsurători mai precise ale distanțelor, așa cum erau cele realizate pentru prima dată de satelitul Hipparcos.

În al doilea deceniu al secolului al 21-lea, succesorul lui Hipparcos, Gaia, va verifica în continuare teoriile stelare, măsurând distanțele și luminozitățile celor mai apropiate 20 de milioane de stele de diverse tipuri cu o eroare de maxim 1%, iar pentru un miliard de alte stele – cu o precizie mai slabă, dar totuși neatinsă până atunci. Ca să fim cinstiți față de toți cei implicați, să nu subestimăm dificultățile. „Astronomii au folosit la maxim toate oportunitățile pe care le-au avut”, observa Lennart Lindegren de la Lund, din Suedia, un membru important al echipelor sateliților Hipparcos și Gaia. „Nu a fost niciodată ușor să obținem informații de la luminițele acelea îndepărtate de pe cer.”

● Muzica stelelor

De partea cealaltă a strâmtorii Øresund, în Danemarca lui Hertzprung, Jørgen Christensen-Dalsgaard din Aarhus avea o atitudine și mai tranșantă. „Marele public poate crede că astronomii știu cum funcționează stelele”, a spus el în 2002. „Chiar și unii astronomi cred aceasta. Dar impreciziile uriașe referitoare la vârsta stelelor, de exemplu, sunt un semn al ignoranței noastre, iar teoriile noastre se bazează pe multe ipoteze care nu au fost încă verificate de vreo observație asupra interiorului stelelor. Proiectele spațiale noi vor îmbunătăți în curând situația.”

Christensen-Dalsgaard se referea la o serie de sateliți a căror misiune era de a detecta undele sonore emise de stele. Fie că se află aproape sau la distanță, o stea se comportă ca un instrument muzical în interiorul căruia se reflectă undele sonore, iar tonurile și armonicele rezultate dezvăluie informații extrem de precise despre interiorul stelei. Pentru promovarea proiectului spațial, Christensen-Dalsgaard a citat o discuție dintre Lorenzo și Jessica, personaje ale lui Shakespeare din piesa „Neguțătorul din Venetia”.

„... Iată, podeaua raiului e pardosită
cu discuri de-aur strălucitor;
Și cea mai mică stea pe care o privești
În mișcarea ei, cântă precum un înger,
Alăturându-se corului celest al heruvimilor...”

Mai degrabă din cauza vidului interstelar, decât a veșmântului noroios al descompunerii stelelor, noi nu le putem auzi sunetele direct și, în orice caz, frecvențele lor sunt prea joase pentru a fi percepute de urechea umană. Dar astronomii detectează undele sonore sub forma unor pulsații ritmice în strălucirea stelelor, cu perioade de câteva minute. Dacă vi se pare amuzant, puteți transforma ritmurile în sunete înalte, ascuțite și bine definite, precum notele pe un portativ.

Principiul a fost consacrat cu cea mai apropiată stea – Soarele, în timpul anilor 1980, când a apărut helioseismologia ca metodă de sondare a nucleului solar. Observațiile extinse de-a lungul a luni sau ani întregi au furnizat informații din care experții au putut deduce caracteristicile esențiale ale interiorului Soarelui, cum ar fi curenții de gaz și dimensiunea și temperatura miezului nuclear. Observațiile solare au dezvăluit complexități interne neanticipate de teoriile pre-existente asupra Soarelui și stelelor.

Aplicată la alte stele, tehnica poartă denumirea de astroseismologie. Distanța nu contează, cât timp pot fi măsurate variațiile strălucirii. În 2002, observația de lungă durată a unei stele mari prin intermediul unui telescop elvețian de la Observatorul Sudic European (ESO) din Chile a demonstrat că reverberațiile din interiorul unei stele gigantice, Xi Hydrae, sunt, după cum s-a preconizat, de o frecvență acustică mult mai joasă decât în cazul Soarelui.

Muzica Soarelui a fost înregistrată de la sol, de-a lungul multor ani, cu ajutorul unor rețele de instrumente, și de-abia mai târziu cu nave spațiale. Însă telescoapele spațiale specializate ce pot monitoriza mai multe stele simultan promet a fi cele mai potrivite pentru înregistrarea muzicii stelelor. Un mic satelit canadian, MOST (2003), și telescopul spațial francez COROT (2005) au fost proiectate pentru a deschide drumul astroseismologiei în spațiu, în scopul sondării unui număr de aproximativ 100 de stele de o varietate limitată. Un proiect de o mai mare amploare, telescopul stelar Eddington al Agenției Spațiale Europene (ESA), urma să examineze 50 000 de stele, de diverse dimensiuni și vârste. Anularea acestui proiect în 2003 a lăsat neîmplinită această speranță.

„Dacă vă spun acum că un anumit roi de stele are vârsta de 100 de milioane de ani, ar trebui să am noroc și să sper că adevărul este undeva între 80 și 120 de milioane de ani”, afirma, în 2002, responsabilul științific al proiectului, Fabio Favata de la Agenția Spațială Europeană. „Cu ajutorul telescopului Eddington sperăm să putem spune, de exemplu, că un anumit roi stelar are exact 104 milioane de ani. Astfel v-ați putea face o idee asupra preciziei pe care acest proiect spațial o va aduce astronomiei.”

● Măsurarea stelelor

Pe vârfurile munților din Hawaii și Chile, operatorii celor mai mari telescoape cu lumină vizibilă din lume erau neîntrecuți în investigațiile lor asupra stelelor și în orice alte direcții. Pe parcursul anilor 1990, telescopul spațial Hubble i-a lăsat puțin în urmă. Dar aceștia i-au învins cu ușurință puterea de focalizare a luminii, cu ajutorul unor oglinzi de 8 sau 10 metri în diametru, spre deosebire de cea a lui Hubble, de numai 2,4 metri. Unii astronomi visau la OWL (Overwhelmingly Large Telescope), telescopul imens cu o oglindă de 100 de metri în diametru. Turbulența aerului, care face ca stelele să licăie STELELE rămas totuși o problemă pentru telescoapele de la sol, cu lumină vizibilă, limitându-le claritatea imaginilor.

Alții au folosit la maxim echipamentele pe care le dețineau deja, pentru a atinge claritatea unui telescop imens de tip OWL, sau o precizie și mai bună, prin combinarea observațiilor simultane provenind de la rețele de telescoape mai mici. Încă din anii 1950, astronomii de la Cambridge au dezvoltat tehnicile necesare, numite interferometrie și metoda de sinteză a aperturii, utilizând două sau mai multe radiotelescoape radio. În 1995, succesorii lor au creat primul sistem de vizualizare de acest tip care folosește lumina vizibilă.

Primele fotografii arătau strălucitoarea stea Capella ca fiind de fapt două stele ce orbitează una în jurul celeilalte, aflate la numai a 14-a milionime dintr-un grad distanță. Telescopul optic cu apertură sintetică de la Cambridge, prescurtat COAST (The Cambridge Optical Aperture Synthesis Telescope), a continuat observațiile în această direcție și a obținut rezultate similare în lumină infraroșie, cu numai cinci telescoape de 40 de centimetri amplasate la o distanță de 100 de metri unul de celălalt.

„Ne putem aștepta la rețele cu mult mai multe telescoape, cu oglinzi colectoare mult mai mari și probabil la telescoape cu apertură sintetică măsurând până la un kilometru”, a afirmat John Baldwin, conducătorul proiectului COAST. „Telescoapele de acest fel vor juca cu siguranță un rol important în evoluția viitoare a astronomiei, și cine știe ce surprize științifice ne mai rezervă ele?”

Telescopul VLT (Very Large Telescope) al Observatorului Sudic European (ESO), cu patru oglinzi de 8,2 metri în diametru, situat pe vârful muntelui chilian Paranal, a fost primul instrument pentru lumină vizibilă proiectat de la început pentru interferometrie. Prima legătură între două dintre telescoapele principale s-a realizat în 2001, pentru observații simultane ale aceluiași punct de pe cer. Alte două din patru telescoape auxiliare mobile de 1,8 metri urmau să fie puse în funcțiune în același loc, astfel încât sistemul să fie complet operabil până la sfârșitul anului 2003. Acesta promitea să ne arate stelele așa cum nu le mai văzusem până atunci.

Timp de secole, stelele au fost pentru noi niște simple punctulețe de lumină, datorită îndepărtării lor. Primele interferometre au realizat imaginea stelei gigantice Betelgeuse, care e de 500 de ori mai mare decât Soarele, și au detectat zone fierbinți pe suprafața ei. Interferometrul de pe vârful Paranal, și încă unul asemănător cu telescoapele gemene americane, de 10 metri, de la Observatorul Keck de pe vârful Mauna Kea din Hawaii, vor putea să capteze imagini ale unor stele mult mai mici sau mai îndepărtate, cu o rezoluție extrem de fină, comparabilă cu depistarea siluetei unui astronaut pe Lună. Investigarea directă a suprafețelor multor stele și chiar a planetelor mari ce orbitează în jurul lor devine astfel un scop realist.

● Măsurarea Universului

Cefeidele, un tip de stele variabile pulsante, reprezintă un caz important pe care interferometria l-a urmărit. Acestea sunt stele mari, de mii de ori mai luminoase decât Soarele, care se dilată și se contractă asemenea unui plămân care respiră. Steaua Polară este și ea o cefeidă, ce devine alternativ mai strălucitoare sau mai slab luminoasă la fiecare trei zile, însă prototipul este Delta Cephei, cu o perioadă de cinci zile, care a fost descoperită de un surdo-mut pe nume John Goodricke, din York, în secolul al 18-lea. În 1912, Henrietta Leavitt de la Observatorul Colegiului Harvard a descoperit că luminozitatea relativă a fiecărei cefeide depindea de lungimea ciclului său – cu cât acesta era mai lent, cu atât steaua era mai strălucitoare.

Cefeidele au devenit apoi ghizii principali la distanțe cosmice, în Calea Lactee și dincolo de aceasta. Telescopul spațial Hubble le-a căutat și în alte galaxii și le-a luat pulsul, pentru a măsura dimensiunea și viteza de expansiune a întregului Univers observabil. Punctul slab al acestei reguli celeste de măsurare era tocmai calibrarea sa cu ajutorul distanței până la cea mai apropiată cefeidă. Primele rezultate provenind de la satelitul Hipparcos, în 1997, au indicat că stelele cefeide erau mai îndepărtate și deci mai luminoase decât se crezuse anterior.

„Presupunem că Universul e un pic mai mare și, prin urmare, un pic mai bătrân, cu aproximativ un miliard de ani”, a declarat Michael Feast de la Cape Town, interpretând datele obținute de Hipparcos. „Stelele cele mai bătrâne par a fi mult mai tinere decât se credea, cu aproximativ 4 miliarde de ani. Dacă am putea stabili vârsta Universului la 12 miliarde de ani, să zicem, atunci totul s-ar potrivi de minune.”

Curajul lui Feast de a face o astfel de afirmație dovedea mai degrabă importanța cosmologică a cefeidelor decât certitudinea concluziei sale. Satelitul pentru localizarea poziției stelelor lucra la limita posibilității lui de determinare a distanței, mult dincolo de Pleiade. O altă complicație era faptul că multe dintre stelele aflate sub observație aveau însoțitori.

Contrazicându-se încă referitor la vârsta celor mai vechi stele – 10 sau 17 miliarde de ani – astronomii au așteptat clarificări din partea interferometrelor în legătură cu scala cefeidelor. În 2001, două telescoape de 40 de centimetri ale interferometrului de testare de la Palomar, California, a detectat pulsațiile a două cefeide suficient de apropiate pentru a măsura distanțele la care se aflau, cu o eroare de aproximativ zece la sută, ceea ce se apropia de rezultatele lui Hipparcos. Era necesară însă o precizie mult mai mare, iar echipa europeană de la Paranal s-a dovedit optimistă în această direcție.

„Cefeidele sunt un exemplu frumos pentru ceea ce ne propunem să facem”, a spus Francesco Paresce, responsabilul științific al interferometrului VLT (Very Large Telescope Interferometer). „Vom vedea efectiv aceste stele variabile crescând sau micșorându-se cu trecerea zilelor și vom măsura, pentru prima dată, distanțele la care se află cele mai apropiate douăzeci de cefeide cu o precizie de 1 la sută sau chiar mai bună. Abia atunci vom ști într-adevăr cât de îndepărtate sunt galaxiile!”

- Pentru mai multe detalii referitoare la viețile private ale stelelor, vezi **ELEMENTELE CHIMICE** și **EXPLOZIILE STELARE**. Pentru descoperiri helioseismice, vezi **NUCLEUL SOLAR**.

STELELE NEUTRONICE



*Ceasuri care ticăie pe cer
și umbrele lor silențioase*

„ÎN SEARA ACEEA M-AM ÎNTORS ACASĂ FOARTE SUPĂRATĂ”, își amintea Jocelyn Bell Burnell. „Mă străduiam să-mi fac doctoratul inventând o tehnică nouă, ca să constat că o multime necugetată de omuleți verzi n-a găsit o altă antenă și o altă frecvență decât pe cele alese de mine, pentru a comunica cu noi. Cu toate acestea, după cină m-am simțit suficient de revigorată, astfel că m-am întors la laborator pentru a mai studia graficele.”

În acea zi de decembrie a anului 1967, doctoranda la Cambridge în vârstă de 24 de ani a intrat din întâmplare, neinvitată, la o întâlnire a unor nume importante din astronomie. Aceștia voiau să facă publică posibila ei descoperire a inteligenței extraterestre în undele radio straniu de regulate pe care le înregistrase venind de la stele. Dar, lucrând până târziu, ea a mai descoperit încă o sursă de unde, ceea ce însemna că se putea duce acasă să-și petreacă vacanța de Crăciun mult mai fericită. „Era foarte puțin probabil ca două grupuri de omuleți verzi să aleagă aceeași frecvență improbabilă, și în același timp, pentru a încerca să trimită semnale către aceeași planetă, Pământul.”

La sfârșitul lui ianuarie 1968 avea patru surse distincte, răspândite pe cinci kilometri de zigzaguri de pe diagramele radiotelescopului. La urma urmelor, părea un fenomen natural. Doctoranda din Irlanda de Nord descoperise nu doar un tip neobișnuit de stea, ci și o nouă stare a materiei.

Primele ipoteze despre stelele neutronice fuseseră lansate în 1934, de către Walter Baade din Germania și Fritz Zwicky din Elveția, care lucrau la Observatorul Mount Wilson din California. Aceasta s-a petrecut la scurtă vreme după ce James Chadwick de la Cambridge a descoperit neutronul ca rudă neutră din punct de vedere electric a protonului – nucleul atomului de hidrogen – și componentă obișnuită a nucleelor altor atomi. Conform raționamentului lui Baade și Zwicky, în timpul exploziei unei stele mari, colapsul nucleului stelei ar crea o forță de gravitație atât de intensă încât ar putea descompune atomii. Steaua neutronică ce rezultă s-ar putea contracta până ar ajunge la un diametru de zece kilometri, și ar dobândi densitatea unui nucleu atomic.

În calitate de teorie ce trebuia probată experimental, ipoteza stelei neutronice oferea o posibilă explicație pulsarilor. Thomas Gold de la Cornell a atras atenția

că un asemenea obiect s-ar putea roti cu o viteză foarte mare. Câmpul său magnetic intens ar focaliza emisiile radio în raze de la polii magnetici opuși, asemănătoare fasciculelor luminoase rotitoare ale unui far. Aceasta ar putea fi sursa pulsurilor detectate pe Pământ.

La sfârșitul anului 1968 a apărut o dovadă în sprijinul acestei idei, și anume descoperirea unui pulsar în centrul Nebuloasei Crab de către radiotelescoapele americane. Acesta era rămășița neclară a unei stele pe care astronomii chinezi o văzuseră explodând în anul 1054. Ulterior, pulsarul din Nebuloasa Crab a putut fi văzut pulsând și cu ajutorul luminii vizibile, precum și cu al razelor X sau gama.

● Materie „torturată”

Cu mult înainte ca radiopulsarul cu numărul 1 000 să fie identificat în 1998, stelele neutronice erau un adevărat tezaur pentru astrofizicieni. Aproape toate sunt orfane, neînrudite cu rămășițele cunoscute ale stelelor care au explodat. Unele se deplasează cu viteze foarte mari, după ce au fost împrăștiate violent în urma exploziilor stelare care le-au generat, astfel încât au lăsat celelalte resturi cu mult în urma lor.

În timp ce majoritatea pulsarilor emit impulsuri de câteva ori pe secundă, alții, numiți pulsari miliseconde, sunt de sute de ori mai rapizi. Steaua neutronică ce radiază ca un far se rotește din ce în ce mai repede datorită gazului care este atras spre ea de la o stea însoțitoare. S-a observat că mărirea vitezei de emisie a pulsurilor apare la stelele neutronice care au însoțitori apropiați. Gazul care impactează suprafața stelei neutronice generează raze X. Aceste sisteme, numite sisteme binare de raze X, sunt adesea ușor de observat cu ajutorul telescoapelor cu raze X din spațiu.

Ca un adevărat canibal, steaua neutronică își folosește gravitația intensă pentru a absorbi gazul din atmosfera nefericitului său însoțitor, pe care îl poate chiar distruge. Spre exemplu, sursa de raze X J0929-314 din constelația Antlia pulsează de 185 de ori pe secundă. Ea a redus masa stelei sale însoțitoare la o sutime din masa Soarelui. În final aceasta va dispărea cu totul, iar resturile sale vor fi împrăștiate în spațiu de presiunea razelor X.

„A trecut ceva timp de când acest pulsar acumulează gazul donat de însoțitorul său”, a spus Duncan Galloway de la Institutul de Tehnologie Massachusetts, care a folosit satelitul Rossi X-ray Timing Explorer pentru a studia dansul final al lui J0929-314. „Este captivant să descoperim în sfârșit pulsari în toate stadiile de dezvoltare, unii care sunt destul de tineri și alții care trec spre ultimul stadiu de izolare.”

O stea neutronică este ea însăși un obiect fantastic, o ultimă etapă înainte de a deveni gaură neagră. O crustă solidă acoperă o masă fluidă de materie nucleară nediferențiată din punct de vedere chimic. O ceașcă plină cu această materie ar

cântări miliarde de tone. Gravitația este atât de puternică la suprafață încât gazul atras de o stea neutronică atinge o viteză de aproape jumătate din viteza luminii. Intensitatea câmpului magnetic are, și ea, valori inimaginabile. Cazurile extreme se numesc magnetari, o clasă de stele neutronice descoperită în 1998 de Chryssa Kouveliotou de la Asociația pentru Cercetări Spațiale a Universităților din SUA. O explozie extraordinară de raze gama provenind de la magnetarul SGR 1900+14, în august 1998, a avut efecte perceptibile asupra atmosferei Pământului, deși sursa se afla la 20 000 de ani-lumină depărtare, în constelația Aquila. Ulterior, măsurătorile satelitului Rossi au stabilit că valoarea câmpului magnetic al magnetarului SGR 1806-20 este de un milion de miliarde de ori mai mare decât valoarea câmpului magnetic al Pământului. Alaa Ibrahim, de la Universitatea George Washington, a comentat acest rezultat, spunând că „dacă acest magnetar ar fi la fel de aproape ca Luna, ar determina rearanjarea moleculelor din corpurile noastre.”

Sub presiunea extraordinară din centrul unei stele neutronice, densitatea materiei poate fi de câteva ori mai mare decât într-un nucleu atomic obișnuit. Fizicienii teoreticieni încearcă să-și imagineze cum arată materia atunci când este „torturată” în aceste condiții extreme. Ea ar putea include rude foarte masive ale protonilor și neutronilor.

Particulele nucleare ar putea forma perechi, generând astfel materiale supraconductoare și suprafluide, care nu opun niciun fel de rezistență curentului electric sau curgerii unui lichid. O altă stare posibilă a materiei comprimate este supa de quarci. În aceasta, componentele materiei nucleare scapă constrângerilor și roiesc într-o mare de gluoni, așa-zisii lor „temnicheri”.

Posibilitățile variate implică un comportament diferit al stelei neutronice, mai ales în privința vitezei cu care degajă energie. Dacă reacțiile între particule creează particulele fantomatice numite neutrini, ei pot evada cu ușurință neobservați, ducând la răcirea rapidă a stelei neutronice. Observând mai multe stele neutronice prin intermediul undelor radio, razelor X sau razelor gama, astronomii speră că, într-o zi, vor putea să descifreze ce se întâmplă de fapt în nucleeele lor.

Pulsarii sunt extraordinare ceasornice care pot depăși în acuratețe chiar și ceasurile atomice. Ritmul aparent al ticăitului lor este afectat de deplasarea pulsarului – dacă se apropie de noi sau se depărtează. Prin urmare, se modifică în pas cu mișcarea Pământului în jurul Soarelui și cu orice altă mișcare orbitală a pulsarului însuși. Din când în când, ritmul se schimbă. Defecțiunea e datorată unui cutremur stelar, o rearanjare a materiei în interiorul stelei neutronice care îi modifică viteza de rotație.

● Trei miliarde de pulsuri de raze gama

Multe stele neutronice nu sunt detectate prin undele radio pe care le emit deoarece raza farului ce baleiază cerul în jurul pulsarului omite câteodată Pământul.

Altele nu mai emit unde radio deloc, deoarece sunt prea bătrâne. De-a lungul a mii sau milioane de ani, un pulsar solitar încetinește și devine chiar mai slab decât o sursă de unde radio. În final, după aproximativ 10 milioane de ani, se stinge cu totul, dar supraviețuiește ca o stea foarte mică și densă. Cum galaxia Calea Lactee a produs stele neutronice timp de 10 miliarde de ani, probabil că majoritatea nu mai emit acum unde radio detectabile.

Prototipul unei stele neutronice care nu emite unde radio a apărut la câțiva ani după descoperirea pulsarilor. Primul satelit pentru astronomia cu raze gama, SAS-2, a observat-o în 1972 ca fiind una din cele mai strălucitoare surse de raze gama de pe cer, localizată în constelația Gemini. Giovanni Bignami de la Institutul de Fizică Cosmică din Milano a numit această stea Geminga. Numele era un joc de cuvinte, semnificând fie „Gemini gama”, fie *gh'è minga*, care în argoul milanez înseamnă „nu e acolo”.

Denumirea era bine aleasă. Mai multe investigații realizate cu unde radio și lumină vizibilă nu au reușit să evidențieze vreo dublură evidentă a emisiilor intense de raze gama. Bignami și soția sa, Patrizia Caraveo, nu au fost descurajați și au utilizat resursele din ce în ce mai performante ale astronomiei pentru a o găsi pe Geminga. Această campanie neobosită a durat în total 25 de ani.

Folosind o poziție aproximativă indicată de satelitul cu raze X Einstein (1979), ei au căutat un obiect vizibil cu marile telescoape din Hawaii și din Chile. În 1987 cei doi au identificat o stea cu strălucire slabă, în mod specific albastră, întocmai ca vizibila Geminga. O altă reperare a acestui obiect ce a avut loc în Chile, în 1992, a arătat că se deplasează repede pe cer.

Între timp, au fost lansați satelitul cu raze X Rosat și satelitul cu raze gama Compton, în anii 1990 și 1991, respectiv. Cu Rosat, Jules Halpern de la Columbia a detectat semnale de la Geminga. Ea emite radiație de mare energie cu o frecvență de patru ori pe secundă – la fiecare 237 milisecunde, mai exact. Observațiile satelitelui Compton au confirmat pulsația, iar reexaminarea datelor mai vechi referitoare la Geminga, înregistrate de satelitul cu raze gama COS-B al Agenției Spațiale Europene (1975–1982), a evidențiat de asemenea existența acestuia – deși era greu de localizat dacă nu știai ce să cauți. O scădere a vitezei de emisie a radiațiilor indica faptul că Geminga are cam 300 000 de ani.

Prin urmare, Geminga este o stea neutronică, și nu una foarte bătrână. Absența undelor radio poate fi datorată direcției în care acestea sunt emise. În 1993, Societatea Astronomică Americană a recunoscut meritele lui Bignami și ale lui Halpern în rezolvarea misterului stelei Geminga. Însă Caraveo încă mai dorea să știe la ce distanță se află aceasta, și numai telescopul spațial Hubble putea oferi un răspuns competent.

Chiar și telescopul Hubble a trebuit să fixeze acel punct de pe cer mai mult de o oră pentru a distinge palida stea Geminga, cu un diametru de numai 20 de kilometri. Caraveo a realizat trei observații cu Hubble, la intervale de șase luni. Ea a

detectat variații foarte mici ale direcției aparente a lui Geminga pe măsură ce Pământul și telescopul Hubble se roteau în jurul Soarelui. În urma acestor determinări, s-a stabilit că Geminga se afla la aproximativ 500 de ani-lumină și că această stea neutronică emite radiație gama și X de zece ori mai intens decât emite Soarele lumina vizibilă. În plus, aleargă prin galaxie cu 120 de kilometri pe secundă.

Caraveo și-a încheiat turul de forță astronomic în 1998. Împreună cu alți colegi europeni, ea a combinat imaginea obținută de Hubble cu imagini mai mari provenind de la telescoape din Chile și din Italia. Astfel Geminga a putut fi inclusă pe o hartă foarte exactă a cerului, reprezentată cu ajutorul satelitului pentru cartografierea stelelor, Hipparcos, cu o precizie de până la zece milionimi de grad. Era prima dată când un obiect cosmic atât de slab strălucitor putea fi localizat cu o precizie atât de ridicată.

Colegii americani ai lui Caraveo au folosit această poziționare pentru a corecta confuziile datorate mișcării Pământului. Ei au avut la dispoziție observațiile periodice făcute de sateliții cu raze gama SAS-2, COS-B și Compton, pe o perioadă de aproape un sfert de secol. În urma reconstituirii a rezultat o serie completă, neîntreruptă, de 3,2 miliarde de ticăituri ale uimitorului ceas cu raze gama al lui Geminga, între anii 1972 și 1996.

De ce a insistat Caraveo așa de mult pe un singur obiect? „Probabil că sunt milioane de Geminga în galaxia noastră”, a afirmat ea. „O mare parte din viitorul științei stelelor neutronice depinde de stelele care nu emit unde radio. Se poate să fi văzut deja multe dintre acestea, fără să le identificăm ca atare. Acum, când avem în spațiu telescoape mult mai performante cu raze gama și cu raze X, distracția abia începe.”

Ca un prim indiciu despre ceea ce urmează, satelitul cu raze X Rosat a detectat o stea neutronică fără emisii de unde radio și care este mai apropiată, la numai 350 de ani-lumină depărtare. Se numește RX 185635-3754 și a fost localizată și de telescopul spațial Hubble în 1996. Alte stele neutronice fără emisii de lumină vizibilă sau unde radio au fost detectate de doi sateliți cu raze X, foarte eficienți, lansați în 1999 – Chandra, aparținând NASA, și XMM-Newton, construit de Agenția Spațială Europeană. Unele dintre ele se aflau în interiorul rămășițelor unor supernove, acolo unde astronomii căutaseră degeaba dubluri ale pulsarului din Nebuloasa Crab.

● Pulsarii pe post de sonde spațiale

Între timp, descoperirea pulsarilor radio a cunoscut un mare avânt. Clasicele antene parabolice uriașe de la începuturile radioastronomiei, printre care cele de la Arecibo din Puerto Rico, de la Jodrell Bank din Anglia și de la Effelsberg din Germania, au fost repuse în funcțiune ca vânători de pulsari, folosind detectoare de cel mai înalt nivel și analiza datelor. Venerabila antenă orientabilă de 64 de

metri, de la Parkes, Australia, a reușit să dubleze, doar ea singură, numărul pulsarilor cunoscuți de la 700 în 1997 la 1 400 în 2001, într-o serie de campanii speciale în care s-au folosit 13 receptori ce puteau fi îndreptați simultan înspre diferite zone de pe cer.

Numărul total includea peste 100 de pulsari milisecundă extrem de rapizi. Aceștia pot fi mult mai bătrâni decât pulsarii mai lenți, dar se formează mult mai rar – poate o dată la 250 000 de ani în galaxia noastră, comparativ cu o dată la un secol, cum este cazul celor lenți. Aproximativ jumătate din pulsarii milisecundă, un număr destul de disproporționat, apare printre stelele dense ale roiurilor stelare globulare, care urmează traiectorii orbitale libere în jurul centrului Căii Lactee.

Pentru astrofizicieni sunt deosebit de valoroși pulsarii care orbitează alte stele, și care totuși nu sunt canibali (adică nu fură materia respectivelor stele). Atunci, ceasurile extrem de precise ale pulsarilor fac posibile analize subtile. Primul astfel de sistem de două stele evidențiat, numit pulsar binar, a fost B1913+16 din constelația Aquila. Acesta pulsează, în medie, de 17 ori pe secundă și orbitează steaua sa partener cu o perioadă de opt ore.

Joseph Taylor și Russell Hulse de la Universitatea din Massachusetts au făcut observații asupra lui B1913+16 în fiecare an, începând din 1974, și au descoperit că, treptat, cele două stele se mișcă pe o traiectorie spiralată apropiindu-se una de alta, spre o eventuală coliziune. Sistemul degajă energie cu exact viteza prevăzută în cazul în care ar emite unde gravitaționale – o formă de energie nedetectată anterior, dar prezisă de teoria gravitației a lui Einstein. Pe măsură ce observațiile asupra lui B1913+16 au continuat până la sfârșitul secolului, comportarea sa a fost conform predicțiilor, fără nici cea mai mică eroare. Și orbita pulsarului s-a rotit, exact așa cum prevăzuse Einstein.

În 1991 au apărut primele planete cunoscute din afara sistemului solar, orbitând în jurul unui pulsar. Alexander Wolszczan de la Penn State a observat variații specifice în viteza de pulsație aparentă a pulsarului milisecundă B1257+12 din constelația Fecioarei (Virgo). Cea mai bună explicație era că pulsarul se balansa puțin, în timp ce planetele orbitau în jurul lui.

În următorii ani, Wolszczan a analizat aceste oscilații și în final a identificat trei planete. Două au aceeași masă ca Pământul, iar a treia, mai mică, este asemănătoare Lunii. Radiațiile mortale ale pulsarului, dar și circumstanțele nașterii sale violente exclud orice posibilitate de viață acolo. Dar, din păcate, descoperirea planetelor în jurul stelelor normale, la numai câțiva ani după aceasta, a eclipsat istorica descoperire astronomică a pulsarilor.

Cercetătorii vor continua să examineze cu atenție fiecare nou pulsar milisecundă sau binar, în căutarea altor elemente neobișnuite. Pulsarii au potențialul de a se comporta ca niște sonde spațiale îndepărtate, capabile să exploreze subtilitățile spațiu-timpului einsteinian. Astfel se face că, pentru Duncan Lorimer de la

Jodrell Bank, unde le gravitaționale și planetele detectate împreună cu pulsarii au fost doar o anticipare a noii astrofizici.

„Mi-aș dori cel mai mult să descopăr”, a spus el, „un pulsar care să orbiteze o gaură neagră. Cu un ceas atât de precis lângă o gaură neagră, am putea cerceta, pentru prima dată, câmpul său gravitațional până în cele mai mici detalii.”

- Pentru alte subiecte înrudite, vezi **ELEMENTELE CHIMICE** și **UNDELE GRAVITAȚIONALE**.

SUPA DE QUARCI

Recrearea unei lumi fără protoni

LA SFÂRȘITUL ANILOR 1980, fizicienii de la CERN, Laboratorul European de Fizica Particulelor din Geneva, au început o serie de experimente cu scopul de a simula Big Bang-ul sub forma unor explozii mai mici, însă suficient de fierbinți și de dense pentru a elibera quarci. Aceștia sunt entitățile fundamentale care constituie materia grea din nucleul atomului.

La vremea aceea nimeni nu se mai îndoia că fiecare dintre protonii și neutronii unui nucleu este format din trei entități de bază, denumite quarci. Diferite experimente cu acceleratoare de particule confirmaseră, în mod indirect, prezența quarților în materia nucleară. Dar nimeni nu văzuse quarci liberi.

Dacă încercăm să eliberăm un quarc în cadrul reacțiilor obișnuite dintre particule, creăm automat un nou quarc și un antiquarc. Imediat, unul dintre ei va înlocui entitatea extrasă. Noul antiquarc va încătușa eventualul evadat într-o particulă numită mezon. Acesta este șiretlicul prin care Mama Natură a ținut quarții prizonieri în haremul ei încă de la începuturile lumii.

Mai exact, prizonieratul quarților a început la 10 milionimi de secundă după declanșarea Big Bang-ului, la începuturile Universului. Până în acel moment, în condiții inimaginabil de fierbinți, orice quarc putea să hoinărească în voie. Tehnic vorbind, li se permitea să își afișeze culorile în public.

Prin culoarea unui quarc, fizicienii se referă la o caracteristică asemănătoare sarcinii electrice. Dar în loc de plus și minus, sarcina colorată are trei forme

desemnate prin culorile roșu, verde și albastru. Quarcii nu sunt colorați în realitate, dar aceasta este o metodă mai simplă de a ne imagina condițiile încătușării lor în materia obișnuită.

Pe ecranul unui televizor, punctele roșii, verzi și albastre formează împreună culoarea albă, iar în prezent regula este că și materia nucleară trebuie, de asemenea, să fie „albă”. De aceea, protonii și neutronii sunt formați fiecare din câte trei quarci, și nu din doi sau patru. În fiecare proton sau neutron, un quarc roșu, unul verde și unul albastru sunt menținuți laolaltă cu ușurință de anumite particule numite gluoni.

Forța de culoare, ai cărei mesageri sunt gluonii, operează doar la distanțe foarte mici. Pentru forța de culoare, spațiul este la fel de opac pe cât este de impenetrabilă apa înghețată pentru pești. Dar la o temperatură suficient de înaltă, spațiul „se topește” și permite pătrunderea forței de culoare. În aceste condiții, quarcii și gluonii se pot deplasa la fel de liberi ca și ionii și electronii din gazul ionizat, sau plasma, unei lămpi cu neon. Efectul forței de culoare este vădit diminuat deoarece vecinii apropiați ecranează fiecare particulă față de forța de atracție a particulelor îndepărtate.

Amestecul rezultat se numește plasmă quarc-gluon sau, mai pe-nțeleșul tuturor, supă de quarci. Presiunea extrem de ridicată poate avea același efect ca temperaturile înalte, iar fizicienii bănuiesc că supa de quarci există în miezul stelelor neutronice, care este un tip de stea aflată în faza de colaps gravitațional, la numai un pas de a deveni o gaură neagră. În orice caz, asta susține teoria, dar pentru a obține experimental quarci liberi, ar fi necesară crearea unei noi stări a materiei, nemaiîntâlnită până acum.

● „Un exces impresionant de straniețe”

O echipă multinațională de fizicieni de la CERN și-a propus să creeze supa de quarci folosind un accelerator, Sincrotronul SuperProtonic (Super Proton Synchrotron), pentru „a topi” nucleele atomilor grei. Metoda consta în a imprima atomilor grei o mișcare accelerată de rotație până ce atingeau energii foarte mari, după care aceștia erau trimiși către o țintă, formată și ea din atomi grei – plumb pe plumb, de exemplu. Ciocnirea directă a celor două nuclee grele urma să genereze o mică minge de foc (fireball), și să creeze astfel rapid condițiile extreme necesare eliberării quarcilor.

Quarcii s-ar recombina aproape instantaneu într-o mulțime de particule și antiparticule binecunoscute și ar zbura sub formă de rămășițe, din țintă spre detectoare. Doar analizând compoziția neobișnuită a rămășițelor ne-am putea da seama că, pentru un scurt moment, s-a manifestat o stare a materiei diferită, specifică. Spre exemplu, proporțiile particulelor care conțin quarci de diferite arome (straniu, farmec) s-ar putea schimba.

Quarcii „farmec” sunt atât de grei încât au nevoie de multă energie pentru a se forma, în primul moment al coliziunii nucleare. În mod normal, ar avea tendința

de a forma perechi quarc „farmec” – quarc „antifarmec”, pentru a genera o particulă binecunoscută, numită charmoniu, sau J/ψ . Dar dacă temperatura este atât de ridicată încât ecranul de plasmă diminuează forța de culoare, acest lucru nu se va întâmpla. Quarcii „farmec” se vor bucura de o scurtă perioadă de libertate și se vor stabiliza doar mai târziu, în compania unor quarci mai ușori.

În următorul moment al coliziunii nucleare, quarcii „straniu”, ceva mai ușori, sunt produși în masă. Acum forța de culoare este deja mult mai puternică și ar trebui să unească quarcii „straniu” câte trei pentru a forma particula numită omega. Pe scurt, primele semne ale apariției rapide a supei de quarci ar trebui să fie câteva particule de charmoniu și mai multe particule omega.

Asta a fost exact ceea ce au văzut cercetătorii de la CERN. În 1997 ei au observat o scădere a numărului de particule charmoniu dintre cele care înghețau în așa-zisa supă. În câțiva ani, au adunat mai multe dovezi ale existenței unui surplus de particule omega.

„Un exces impresionant de straniețe, cu o producție de particule omega de 15 ori peste normal, este doar cireșa din vârful tortului”, a afirmat atunci Maurice Jacob de la CERN, în urma analizei teoretice a rezultatelor coliziunilor nucleare. „Și celelalte aspecte teoretice se verifică – proporțiile relative ale celorlaltor particule, mărimea „mingiilor de foc” ș.a.m.d. Cu siguranță am creat o nouă stare a materiei, de zece ori mai densă decât materia nucleară. Iar suprimarea charmoniului a arătat că, măcar pentru un timp scurt, am reușit să eliberăm quarcii „farmec”.”

Un singur criteriu i-a împiedicat pe cercetătorii de la CERN să descrie noua stare a materiei drept „supă de quarci” și să o numească plasmă quarc-gluon. Micile mingi de foc nu erau suficient de fierbinți și nu rezistau la temperaturi medii. Era ca o ciorbă înghețată, încălzită la microunde dar neomogenizată, iar în Elveția niciun bucătar care se respectă nu ar numi asta supă.

● Un accelerator construit special pentru supă de quarci

În 2000, colegii de la Laboratorul Național Brookhaven din Long Island, New York, au preluat investigațiile celor de la CERN. Noul lor Accelerator de Ioni Grei Relativști (Relativistic Heavy Ion Collider) a fost construit special pentru a realiza supă de quarci. Spre deosebire de experimentele de la CERN, în care unul dintre cele două nuclee grele implicate în ciocnire era o țintă staționară, dispozitivul american aducea în coliziune frontală două fascicule de nuclee de aur rapide.

În 2001 acceleratorul a ajuns să funcționeze la capacitate maximă și tot atunci patru echipe de cercetători au început să fructifice inedite experiențe de ciocnire a nucleelor de aur. În curând ei au obținut dovada unei temperaturi de omogenizare mai bune și alte semne care anunțau formarea supei. Printre acestea, o reducere a fluxurilor de particule produse în mod normal atunci când quarcii foarte energetici încercau să se desprindă din mulțime. În supă de quarci, asemenea quarci eliberează o mare parte din energia lor în timpul coliziunilor.

„Este greu de apreciat în ce mod ne vor afecta și influența aceste descoperiri tehnologia sau chiar viziunea asupra naturii”, comenta Thomas Kirk de la Brookhaven, „dar istoria sugerează că vor exista transformări, dintre care unele chiar profunde”.

- Pentru mai multe informații despre quarci și gluoni, vezi **FAMILIILE DE PARTICULE**. Presupusa succesiune de evenimente de la nașterea Universului este descrisă în **BIG BANG**.

SUPERATOMI, SUPRAFLUIDE ȘI SUPRACONDUCTOARE

Marșul trupelor de bosoni

E DITORII NEINSPIRAȚI care refuză publicarea cărților ce devin ulterior best-sellere își au echivalenții lor și în lumea științei. De exemplu, pentru că savanții de la Universitatea din Edinburgh au respins cererea de angajare a lui James Clerk Maxwell, acesta a devenit cel mai cunoscut fizician din secolul al 19-lea la Londra. Tot astfel, în 1923, editorul de la *Philosophical Magazine* a refuzat publicarea unui articol al unui om de știință aproape necunoscut, de la o universitate de care nu auzise nimeni. Lucrarea aceasta reprezintă piatra unghiulară a fizicii moderne.

Dhaka este acum capitala Bangladesh-ului, însă în 1920 era doar un oraș provincial al Indiei britanice, cu o universitate recent înființată. Acolo, un tânăr din Calcutta numit Satyen Bose reflecta asupra particulelor de lumină. Spre deosebire de particulele materiale, fotonii pot fi creați și distruși după bunul plac și nu au niciun fel de identitate. Prin urmare, ei se supun unor reguli destul de diferite de cele care guvernează materia obișnuită.

Bose a descoperit că aceste reguli îl ajută să calculeze spectrele radiațiilor luminoase de diferite energii emise de un corp incandescent. Era același spectru ca și cel pe care Max Planck de la Berlin îl descoperise cu 20 de ani mai devreme, când fondase teoria cuantică a luminii, doar că acum era obținut într-un mod complet diferit. Deși revista *Philosophical Magazine* i-a respins articolul intitulat „Legea lui Planck și ipoteza cuantelor de lumină”, Bose a fost suficient de încrezător în corectitudinea ideilor sale, astfel încât i-a trimis manuscrisul lui Einstein, la Berlin.

„Stimate domn”, spunea el în scrisoarea de intenție, „îndrăznesc să vă trimit acest articol pentru ca dumneavoastră să-l puteți citi cu atenție și să vă exprimați părerea. Veți vedea că am încercat să deduc coeficientul... din legea lui Planck independent de electrodinamica clasică”.

Toți oamenii de știință celebri primesc foarte multe scrisori năstrușnice, însă Einstein a avut intuiția necesară pentru a recunoaște, printre atâtea manuscrise nesolicitate, valoarea inestimabilă a teoriei lui Bose. A fost atât de impresionat încât a tradus imediat lucrarea în germană și a trimis-o apoi la *Zeitschrift für Physik*. Einstein a intuit, de asemenea, implicațiile mult mai profunde ale teoriei lui Bose. Acestea sunt explicabile mult mai ușor din perspectiva noastră, decât din cea a anilor 1920.

● Lasere și fluide instabile

La ora actuală, fizicienii împart particulele subatomice în două clase generale, fermioni – numiți astfel după numele italianului Enrico Fermi și bosoni – după indianul Bose. Quarcii și electronii, componentele de bază ale atomilor, sunt fermioni. Într-un cuvânt, aceștia sunt particule solitare. Doi fermioni identici nu pot ocupa aceeași stare cuantică, definită prin poziție în spațiu, energie și direcția spinului. Un atom ocupă un anumit loc în spațiu deoarece electronii care roiesc în jurul nucleului au nevoie de suficient spațiu pentru a-și păstra individualitatea.

Bosonii sunt mult mai sociabili. Ei includ toate particulele-mesager ale forțelor cosmice. Bosonii tipici, fotonii, sunt purtători ai forței electrice. Particulele W transmit forța slabă a radioactivității, în timp ce mezonii și gluonii sunt particulele-mesager ale forței nucleare tari. Dublul eponim boson Higgs, care face referire atât la Peter Higgs din Edinburgh precum și la Satyen Bose, a fost foarte căutat prin experimentele cu acceleratoare uriașe de la sfârșitul secolului, deoarece se credea că va explica masele particulelor.

Spre deosebire de fermioni, bosonii pot coexista mai mulți în aceeași stare cuantică. Într-adevăr, ei pot face același lucru dacă le este permis. Cel mai simplu exemplu este un fascicul laser, produs atunci când mai mulți atomi emit fotoni într-o perfectă sincronizare.

Einstein a pus bazele principiului care a dus la descoperirea laserului, indicând că un foton în mișcare poate stimula un alt atom să emită un alt foton cu aceeași energie. Denumirea de „Laser” este un acronim de la „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (Lumină Amplificată prin Stimularea Emisiei de Radiație).

Au trecut mai bine de 30 de ani până când au fost fabricate primele lasere practice. Una este să știi că un anumit efect este posibil, și alta este să găsești o metodă de a demonstra acest lucru în cazul materiei obișnuite. Iar în comentariile făcute de Einstein la Academia Prusacă de Științe din Berlin, în 1925, acesta a prezis efecte asemănătoare laserului în cazul atomilor. În acest caz, perioada care s-a scurs până la demonstrarea experimentală a fost de 70 de ani.

Majoritatea atomilor din Univers sunt bosoni. Prin urmare, ar putea fi capabili, teoretic vorbind, să se asocieze ca și fotonii din fasciculele laser pentru a forma superatomi. Dacă atomul are un număr par de quarci și de electroni, atunci el este un boson potențial sociabil. De exemplu, binecunoscutul heliu-4 este un boson ce conține 12 quarci și doi electroni. Ruda sa mai ușoară – heliul-3 – are 9 quarci și doi electroni și este, prin urmare, doar un biet fermion.

Primul semn al comportamentului superatomic a apărut o dată cu suprafluiditatea heliului-4, un fenomen surprinzător descoperit în 1938 de Piotr Kapița de la Institutul pentru Probleme de Fizică din Moscova. Atunci când este răcit cu două grade sub zero absolut (-271 grade Celsius), heliul lichid nu mai prezintă nicio urmă de viscozitate. Dacă este păstrat într-un container deschis înăuntrul unui dispozitiv de răcit, heliul va sfida gravitația, va urca pe pereții vasului și se va scurge și în afara acestuia. Cu siguranță, heliul-4 suprafluid este un tip de superatom bosonic, așa cum sugera Fritz London la Paris, cu puțin înainte de descoperirea lui Kapița.

Și mai remarcabilă a fost suprafluiditatea heliului-3, care nu este boson. În 1972, un doctorand al universității Cornell, Douglas Osheroff, a observat că se întâmpla ceva neobișnuit la o temperatură de numai două miimi de grad peste zero absolut, în timpul unui experiment ce avea ca scop obținerea gheții de heliu-3. Cercetările aprofundate realizate alături de colegii săi mai avansați, David Lee și Robert Richardson, au condus la descoperirea fenomenului suprafluidității, ce a fost confirmat și de Olli Lounasmaa de la Universitatea Tehnologică din Helsinki.

Această descoperire, cu toate că aparent întâmplătoare, nu a fost chiar o surpriză. Posibilitatea ca, la temperaturi scăzute, fermionii să renunțe la „îngâmfarea” caracteristică și la solitudine și să se grupeze pentru a forma bosoni a reieșit din explicarea unui alt tip de „supracomportament”.

● Rezistență electrică zero!

În 1911, Heike Kamerlingh Onnes de la Leiden a descoperit că mercurul răcit la o temperatură de patru grade peste zero absolut nu mai opunea niciun fel de rezistență curentului electric. Odată pornit, curentul electric continua să-l străbată, fără să necesite existența vreunei tensiuni electrice pentru a-l menține. Multe alte metale și aliaje s-au dovedit a fi supraconductoare la temperaturi apropiate de zero absolut.

Supraconductivitatea era un fenomen uluitor și foarte mult timp nu i s-a găsit o explicație convingătoare. Curentul electric obișnuit poate străbate metalele deoarece electronii individuali se mișcă relativ liber printre atomi. Ca fermioni, electronii întâmpină totuși piedici, care se traduc printr-o rezistență electrică.

În 1957, John Bardeen, Leon Cooper și John Robert Schrieffer din SUA s-au gândit că electronii dintr-un supraconductor s-ar putea transforma în bosoni, dacă ar forma perechi. La o temperatură suficient de scăzută, interacțiunile dintre

electroni și rețeaua atomilor de metale ar putea favoriza această împerechere. Apoi, ca o armată fantomatică de bosoni uniți, perechile de electroni ar ignora pur și simplu rezistența rețelei atomice. Ele ar mărșălui liber prin supraconductorul cu rezistență electrică zero, atât timp cât temperatura și intensitatea câmpului magnetic rămân suficient de scăzute.

Mulți fizicieni au fost impresionați de teoria Bardeen-Cooper-Schrieffer, însă aceasta nu a reușit să prevadă sau să explice descoperirea supraconductorilor ceramici. Această poveste a început în 1986, la IBM Zürich, când Georg Bednorz și Alex Müller au descoperit că oxidul de lantan-bariu-cupru era un supraconductor, chiar și la 35 de Kelvini peste zero absolut. Până atunci, cel mai cald supraconductor cunoscut era aliajul de niobiu-germaniu, la 23 de Kelvini. În numai doi ani, IBM Almaden din California a fabricat un material ceramic complex care rămânea supraconductor chiar și la 125 de Kelvini, adică la -148 grade Celsius. La începutul noului mileniu nu se găsisese încă explicația acestor fenomene de supraconductibilitate la „temperaturi înalte”.

● Primii superatomi

Pentru superatomii preziși de Einstein erau necesare temperaturi foarte apropiate de zero absolut. Acesta a fost principalul motiv al întârzierii de 70 de ani. La temperatura de zero absolut, orice mișcare termică încetează. În aerul pe care-l respirăm, moleculele circulă în toate direcțiile cu viteze mari, dar la zero absolut atomii trebuie să fie perfect statici, nici măcar să nu tremure. Aceasta este o stare teoretică practic inexistentă în Univers în mod natural, iar tehnicile artificiale de răcire nu vor putea ajunge niciodată la temperatura de zero absolut. Însă în secolul al 20-lea s-au apropiat din ce în ce mai mult de această valoare.

Pentru a produce un superatom avem nevoie de un gaz în care mii sau miliarde de atomi individuali să se deplaseze cu câțiva milimetri pe secundă – literalmente cu viteza melcului. Aceasta înseamnă o temperatură de o zecime de milionime de grad peste zero absolut, sau 100 de nanoKelvini în unități de măsură ale fizicienilor. Dar de ce trebuie să fie atât de frig? Pentru că atomii nu se vor grupa până când nu-și vor simți reciproc prezența, prin intermediul undelor lor de materie.

În 1925, atunci când prezisese existența superatomilor, Einstein nu se bazase numai pe ideile lui Bose, ci și pe ipoteza undelor de materie, lansată de Louis de Broglie la Paris în 1924. La fel cum în fizica cuantică a fost acceptată natura ondulatorie a luminii, care era privită în același timp ca fiind și undă, și particulă, tot astfel era necesar ca fiecărei particule materiale să i se asocieze o undă. La temperaturi obișnuite, lungimea de undă asociată unui atom este mai mică decât însăși dimensiunea atomului.

Un atom ultrarece are o lungime de undă asociată comparabilă cu distanța dintre atomii unui nor experimental. Atunci, și numai atunci, poate fuziona cu alți

atomi. În termenii macroparticulelor, ei formează atunci un roi sau nor superatomic (blob); în termeni ondulatorii, este o unică undă de materie gigantică.

Criogenia cu ajutorul generatoarelor de heliu lichid și a altor substanțe de acest fel a însoțit toate eforturile anterioare de a obține substanțe foarte reci. Astfel de accesorii au devenit inutile atunci când s-a descoperit că se putea micșora viteza unui fascicul de atomi prin ciocnire frontală cu un fascicul laser și apoi atomii încetiniți puteau fi capturați cu ajutorul altor fascicule laser sau al câmpurilor magnetice. Orice atom „fierbinte” putea fi lăsat să scape, reducând și mai mult temperatura, exact ca într-un răcitor de cafea.

În 1995, Eric Cornell și Carl Wiemann de la JILA, Colorado, au obținut primii superatomi de rubidiu. (JILA este un institut, la fel ca CERN din Geneva – a cărui denumire este un acronim, originea sa fiind intenționat uitată.) Peste câteva luni, Wolfgang Ketterle de la Institutul de Tehnologie Massachusetts (MIT) a produs superatomi și mai mari de sodiu, iar în 1997 Randall Hulet de la Universitatea Rice din Texas a continuat cu litiul. În 1998, Daniel Kleppner și Thomas Greytak de la MIT au reușit, după ani întregi de eforturi nefructificate, să obțină superatomi de hidrogen.

Superatomii lui Ketterle, conținând milioane de atomi de sodiu, erau cei mai drăguți. Puteau fi văzuți ca niște blobi în formă de țigară, și erau lungi cât o fracțiune de milimetru, prezentând opacitate sau transparență la lumină, în funcție de circumstanțe. Puteai lăsa să se desprindă bucăți dintr-un superatom și să cadă apoi, una câte una, sub efectul gravitației. Și, spre mulțumirea profesorilor de fizică, se putea demonstra aspectul ondulatoriu lăsând doi superatomi să se suprapună. Ei creau astfel figuri de interferență asemănătoare undelor făcute la aruncarea a două pietre într-un lac.

„Cum descriu fizicienii o nouă formă a materiei? O agită, o stârnesc, o iluminează puternic și observă ce se întâmplă!”, explica Ketterle. El a mai spus: „După zeci de ani de căutări fără rezultate, nimeni nu se aștepta ca aceste forme condensate să fie atât de stabile și atât de ușor de modificat.”

● După electronică a urmat atomica

Era ca o recreație pentru fizicieni, joaca lor cu superatomii. Ei au confirmat ipoteza lui Nicolai Bogolyubov de la Moscova, veche de 50 de ani, că undele sonore pot străbate superatomul cu o viteză de aproximativ 1 centimentru pe secundă. În 1999 titlurile din ziare anunțau că fizicienii reușiseră să reducă viteza luminii la doar 17 metri pe secundă într-un superatom de sodiu. Această reducere de 18 milioane de ori a vitezei luminii a fost realizată la Institutul Științific Rowland din Massachusetts de către Lene Hau și colegii săi, prin bombardarea unui superatom cu fascicule laser proiectate asupra lui din două direcții diferite. Perturbațiile produse de unul dintre fascicule a făcut ca undele celuilalt fascicul laser să se împiedice de ele însele, cu puternice interferențe reciproce.

În 1997, echipa lui Ketterle prezenta laserul atomic, desprinzând superatomi mai mici dintr-unul mai mare, unul câte unul, și eliberându-i într-o serie de pulsații. Propagându-se rectiliniu printr-o cameră vidată, pulsurile se distanțează la mai mult de un milimetru. Combinarea forțelor gravitaționale cu forțele interne au imprimat fiecărei pulsații o formă aerodinamică de semilună, remarcabilă pentru privitor.

Fizicienii aveau acum, pe lângă descoperirile anterioare – supraconductibilitatea, suprafluiditatea și inventarea luminii laser, manifestările uimitoare ale comportamentului cuantic al materiei atomice la scară microscopică. Importanța fenomenelor bosonice și a celor legate de dualitatea undă-particulă pentru știința fundamentală a fost atestată de un lung șir de Premii Nobel, de la Kamerlingh Onnes în 1911 până la Cornell, Ketterle și Wiemann în 2001.

Până în acel an, proprietățile la temperaturi ultrajoase s-au extins și la fermioni. Comportamentul lor nesociabil nu este responsabil doar de prevenirea colapsului electronilor din atomi, ci și de respingerea reciprocă a particulelor nucleare care împiedică stelele neutronice foarte dense să colapseze în continuare. În 1999, Deborah Jin de la JILA a fost prima cercetătoare care a menținut atomi de potasiu fermionic la temperaturi extrem de scăzute. Ea a observat că aceștia adoptă o scală de energii diferite, ca și electronii dintr-un atom. Următorul său experiment a avut ca scop coexistența superatomilor de fermioni și de bosoni în același creuzet.

Implicațiile noilor stări ale materiei la temperaturi ultrascăzute sunt uluitoare și incredibile. Dacă secolul al 20-lea a fost marcat de progresul electronicii de la tuburile cu raze catodice și valvele termionice până la microcipuri și la Internet, secolul al 21-lea va fi o eră a fizicii atomice. Nu putem ști exact ce înseamnă aceasta, cu toate că primele speranțe includeau ceasuri atomice, giroscopuri, accelerometre, gravimetre și dispozitive de măsurare a magnetismului, de sute sau chiar de miliarde de ori mai exacte decât aparatura existentă.

Renunțarea la tehnologia complicată a primelor experimente va fi o condiție necesară. Două colective de cercetare germane, unul din Tübingen și celălalt de la Institutul pentru Optică Cuantică Max Planck din Garching, au oferit o avans-premieră în 2001, obținând nori de atomi de rubidiu condensați în microcipuri cât o unghie de mici. O echipă de la Garching a reușit să transporte unde de materie de-a lungul suprafeței cipului, folosind o bandă transportoare din microconductoare ondulate care transmiteau curentul alternativ.

Experimentele de la Institutul Garching prin care s-a creat o nouă stare a materiei au însemnat totodată o nouă provocare. S-a reușit modificarea unui superatom de rubidiu într-un solid ultrarece special, numit izolator Mott, după numele teoreticianului britanic Nevill Mott, care a explicat proprietățile electrice surprinzătoare ale substanțelor obișnuite la temperaturi extrem de scăzute.

Fizicienii au elaborat o schemă tridimensională de puncte luminoase și întunecate aflate în spațiu, prin intersectarea figurilor de interferență generate de

trei fascicule laser reciproc perpendiculare. Pentru început, superatomii circulau liber în acest spațiu, dar pe măsură ce intensitățile laserelor creșteau, superatomul dispărea brusc. Atunci când contrastul lumină-întuneric a fost suficient de intens, punctele luminoase au devenit capcane electrice, asemănătoare cavităților dintr-un carton pentru ouă, în care s-au stabilit atomii sustrași din superatom. Aceștia s-au distanțat ca într-un cristal, cu doi sau trei atomi în fiecare dintre cele peste 150 000 de puncte luminoase.

„Putem să transformăm starea materiei din suprafluidă în solidă, modificând intensitățile laserelor”, a comentat Immanuel Bloch din echipa de la Garching. „Și dacă ne gândim la aplicații, unul dintre primele lucruri care ne vine în minte este noul tip de computer cuantic, care va folosi atomi în loc de electroni.”

- Pentru mai multe detalii despre caracterul ondulatoriu al particulelor, vezi **CONEXIUNEA CUANTICĂ**. Pentru rolul evident al condensatului Bose-Einstein de a furniza masă materiei, vezi **BOSONII HIGGS**. Alte subiecte de fizică subatomică se găsesc în capitolele **FORȚA ELECTROSLABĂ** și **FAMILIILE DE PARTICULE**.



SUPERCORZILE

În rezonanță cu imaginația cosmică

„IMPLICAȚIILE SUNT COVÂRȘITOARE”, scria compozitorul Aaron Copland în 1961, într-o scrisoare către un inginer care îi prezentase primele înregistrări de muzică creată pe calculator. „Dacă aș fi avut 20 de ani, aș fi fost foarte interesat de noile posibilități care apar. În cazul de față, prefer să fiu doar spectator, așteptând să observ urmările.”

Era vorba despre inginerul John Pierce de la Laboratoarele Bell din New Jersey, inginer care avea să devină cunoscut datorită proiectării primului satelit activ de telecomunicații, Telstar, lansat în 1962. Pierce avea un hobby, muzica, iar eforturile sale în domeniul electronicii prefigurau sintetizatoarele care simulează instrumentele muzicale clasice, precum și misterioasa muzică de astăzi, compusă dintr-o gamă largă de sunete generate de calculator. Pierce s-a întors la știința fundamentală pentru a putea înțelege sunetele muzicale pe îndelete – de fapt, până în vârfurile degetelor.

El a efectuat experiențe utilizând un fir de nylon pentru undițe, lung de 20 de metri, legat de un pom astfel încât să îl poată ciupi și să poată simți finele vibrații care se deplasau într-un sens și în celălalt în mod repetat pe coardă. Cu peste trei sute de ani în urmă, un francez enciclopedist și peripatetician, Marin Mersenne, realizase experimente sistematice cu coarde din cânepă și din alamă, lungi de 40 de metri. Deși este mai degrabă cunoscut pentru contribuțiile sale la teoria numerelor, Mersenne a publicat în *Harmonie Naturelle* (1636) formula care determină frecvența fundamentală și tonul unei coarde în funcție de tensiunea, lungimea și raportul masă pe unitate de lungime.

Un comerciant de viori îngrijorat l-a întrebat pe un coleg de-al lui Pierce, compozitor de muzică electronică, dacă o coardă de oțel ar supratensiona un instrument. Sfatul a fost acela de a cântări coarda și de a-i compara greutatea cu cea a unei coarde făcute din intestine de animal. Dacă acea coardă de oțel era mai grea, tensiunea creștea proporțional cu raportul maselor, pentru a ajunge la același ton.

Dacă ridicăm capacul unui pian cu coadă și privim în interior, măiestria cu care a fost construit ne spune multe despre știința coardelor vibrante, fără a face apel la principiile matematice ale lui Mersenne. Toate coardele sunt întinse și se pot vedea acele folosite pentru a le regla tensiunea, în vederea unui acord cât mai fin al fiecărei note. Durabilitatea materialelor care existau la începutul secolului al 18-lea, atunci când Bartolomeo Cristofori din Florența a inventat pianul, impunea limite spectrului melodic care putea fi obținut doar prin tensionare.

Deci pianul cu coadă nu este simetric. Bașii sunt emiși de coardele lungi din partea stângă, în timp ce coardele pentru sunete înalte din partea dreaptă sunt scurte. Corzile de bas sunt de asemenea mai groase, pentru a avea masă mai mare. Un element important este durata necesară deflecției cauzate de ciocănel pentru a ajunge, de-a lungul coardei, la capătul depărtat, unde era reflectată pentru a susține vibrația. Într-o coardă masivă de bas, undele se propagă relativ încet și trebuie să parcurgă o distanță mai mare, din acest motiv având o frecvență mai joasă (ceea ce se traduce prin mai puține vibrații pe secundă).

● Corzi prea mici pentru a fi văzute cu ochiul liber

Cu mult înainte de intervenția științei, muzicienii învățau prin metoda încercare-eroare. Aceștia erau foarte interesați de efectul notelor asupra urechii și a minții umane. O descoperire din timpurile clasice, atribuită lui Pitagora, era regula intervalelor dintre tonuri – ce se aplica instrumentelor la care tensiunea în coardă era constantă, dar lungimea acesteia putea să varieze. Dacă înjumătățim lungimea coardei, sunetul ei urcă cu o octavă. Alte raporturi exacte, $6/5$, $5/4$ și așa mai departe, definesc intervalele estetic acceptate de terță mică, terță mare, cvartă și cvintă.

Pentru înțelepții antici, aceasta era așa-numita muzică a sferelor, sau muzica celestă. Faptul că sunetele care impresionau plăcut urechea umană se aflau în raporturi matematice exacte nu reflecta existența unei ordini divine în Univers?

Această idee a persistat în Evul Mediu, iar contemporanul lui Mersenne, astronomul german Johannes Kepler, a folosit-o pentru a-și susține viziunea – eretică pe atunci – conform căreia Soarele, și nu Pământul, se află în centrul Sistemului Solar.

Conform noii teorii a lui Copernic, mișcările relative ale planetelor erau într-o mult mai bună armonie cu frumoasele, divinele proporții pitagoreice, considera Kepler. După cum s-a putut constata, cifrele susțineau argumentația lui Kepler. Astronomii moderni consideră însă acest lucru ca fiind o coincidență în cel mai bun caz, oferind posibile indicii în ceea ce privește originea planetelor. Ei au preferat să lase în seama compozitorilor muritori precum Gustav Holst stabilirea unei corespondențe între planete și muzică.

Istoria însă se repetă. Încă din ultimele decenii ale secolului al 20-lea, acordarea corzilor și descrierea lor matematică a redevenit o preocupare a fizicienilor teoreticieni. Asemeni lui Kepler, mulți aveau convingerea că, deoarece teoria lor era atât de frumoasă, ea trebuia să fie și corectă, și prin urmare că ea descrie într-adevăr structura Universului. Astfel, generatoarele armonioase a tot ceea ce ne înconjoară au fost numite supercorzi (superstringuri).

În timp ce calculatorul lui Pierce putea să creeze sunete corespunzând unor instrumente care nu au existat niciodată, teoreticienii puteau calcula vibrațiile în corzi care nu pot fi văzute cu ochiul liber. Ideea de bază e simplă. În fizica cuantică, particulelor de lumină și de materie li se asociază unde, astfel că ne putem imagina fiecare particulă ca pe o coardă vibrantă ce oscilează cu o frecvență bine determinată ce corespunde energiei particulei. Particulele grele au asociate note joase, iar cele ușoare – note înalte.

Corzile sus-menționate nu s-ar potrivi însă la chitare. Acestea sunt entități minuscule vibrând cu viteze foarte mari în modurile originale pe care le permit fizica cuantică și teoria relativității. De altfel, acestea nu sunt fixate la cele două capete. Ele se comportă ca niște omizi care se cambrează, capabile de a genera unde prin tensiunile interioare. În unele teorii, cele două capete ale unei corzi se unesc, formând un inel.

Corzile au apărut nepoftite în fizica particulelor în jurul anilor 1970, în timpul cercetărilor asupra forței nucleare tari, care menține particulele într-un nucleu atomic. Teoreticienii au observat că unele teorii matematice puteau fi explicate dacă particulele nucleare erau privite drept corzi vibrante. Însă o altă descriere a forței nucleare tari a marginalizat ideea comparației cu corzile. Prin urmare, teoreticienii au fost fascinați de o idee numită supersimetrie, sau Marea Unificare, despre care se speră că va putea face legătura și va extinde diferitele familii de particule, precum și forțele cunoscute și prezise de teorie la vremea aceea.

● Evoluând spre supercorzi

O singură forță mai rămăsese, încăpățânată, în afara sferei supersimetriei. Aceasta era forța gravitațională, pentru care Albert Einstein a creat o teorie puternică, dar în același timp „sălbatică”. „Îmblânzirea” gravitației împreună cu introducerea

ei în sfera fizicii particulelor poate duce la teoria denumită tehnic Teoria Finală (Theory of Everything). Dar pentru a realiza aceasta, va trebui să atribuim forței gravitaționale un nou tip de particulă-mesager, numită graviton, analoagă fotonului, particulă de lumină ce transmite forța electrică.

Printre cei care au perseverat pornind de la ideea particulelor-corzi s-au numărat Michael Green de la Colegiul Queen Mary and Westfield din Londra și Joseph Schwarz de la Caltech. Aceștia au descoperit că dacă reinterpretau supersimetria ca o teorie a corzilor, o particulă corespunzând descrierii gravitonului ar fi apărut din senin, ca o consecință firească a teoriei matematice. Noul hibrid ce părea să promită o Teorie Finală a fost prima teorie a supercorzilor.

„Unificarea acestor forțe se realizează într-o modalitate determinată aproape în mod unic de către argumentul logic conform căruia teoria trebuie să fie consistentă”, scria Green. „Această dezvoltare a dus la o extraordinară revitalizare a interacțiunii dintre matematică și fizică.”

A sosit anul 1984 și iată că Green și Schwartz încă nu rezolvaseră anumite dificultăți tehnice ale teoriei supercorzilor, iar colegii lor se pare că și-au pierdut treptat interesul pentru munca celor doi. Ei nu se mai așteptau la o reacție spectaculoasă. Însă un teoretician de la Princeton, Eduard Witten, le urmărea progresele cu mai mult interes decât s-ar fi așteptat cei doi.

„Witten a aflat despre ceea ce urmăream să facem și m-a sunat cerându-mi o copie a lucrării mele, pe care i-am și trimis-o urgent, prin FedEx”, își amintește Schwarz. „Am aflat că a doua zi toată lumea de la Universitatea Princeton și din Institutul pentru Studii Avansate studia lucrarea. După aceasta, lucrurile au evoluat rapid.”

David Gross, Jeffrey Harvey, Emil Martinec și Ryan Rohn de la Princeton au conceput rapid o altă versiune mai puternică, numită teoria corzilor heterotice. Aceasta avea o caracteristică interesantă potrivit căreia undele care se deplasau în sens orar în jurul unei corzi în formă de buclă se comportau diferit față de cele care se deplasau în sens antiorar. În anii următori, teoreticienii din lumea întreagă s-au implicat masiv în acest nou domeniu, realizând sute de prelucrări și variații.

Cinci teorii ale supercorzilor s-au dovedit a fi consistente. De asemenea, au fost prezise niște elemente noi numite supermembrane sau, pe scurt, brane. Aceste obiecte ce invadaseră domeniul corzilor erau asemănătoare membranelor de tobă, despre care se considera că există într-un spațiu cu zece dimensiuni. Astfel s-a ajuns la un moment în care cititorul poate contempla un univers multidimensional, dincolo de cele trei dimensiuni spațiale și una temporală cu care am fost obișnuiți.

● Dimensiunile: acum le vezi, acum dispar

Trebuie să reamintim încă de la început că din punct de vedere pur matematic multidimensionalitatea este absolut firească. Cu ajutorul unui calculator se poate

Înmulți 2 cu 2, fapt ce ar descrie un pătrat, apoi din nou cu 2, obținând un cub. Dar putem să continuăm această înmulțire cu 2 oricât de mult dorim, obținând 100 de dimensiuni, spre exemplu, fără a defecta calculatorul sau a ne ieși din minți.

O altă abordare a puzzle-ului ar fi să ne gândim la o coardă extrem de elastică în spațiul tridimensional. Să ne-o imaginăm de forma unei benzi plate care vibrează în sus și în jos, ceea ce e mai ușor, dar și în plan orizontal, ceea ce este mai dificil. Putem deci să considerăm că ea produce două note diferite, corespunzând celor două direcții de vibrație diferite. Putem apoi să încercăm să construim mintal o coardă cu o secțiune transversală mult mai complicată, care produce note diferite în mai multe direcții, tot timpul.

La fel cum un constructor de pian adaugă alamă coardelor de bas, tot astfel putem asocia mai multe proprietăți unei coarde ce reprezintă o particulă – sarcină electrică, aroma quarcului sau orice altceva – pentru a obține diferite moduri de vibrație. Într-adevăr, unii teoreticieni preferă să considere vibrațiile corzilor (stringurilor) ca reprezentând grade de libertate multiple în cadrul spațiului tridimensional obișnuit.

Majoritatea teoreticienilor au optat pentru descrierea vibrațiilor supercorzilor ca având loc într-un spațiu cu dimensiuni multiple. Din nou, aceasta nu ar fi avut vreo semnificație creativă, dacă ar fi reprezentat doar o ficțiune matematică pură, ca aceea descrisă mai devreme cu puterile lui 2. Teoreticienii însă privesc lucrurile ca și cum cele zece dimensiuni ale teoriei supercorzilor chiar există, oferind spațiu de desfășurare proceselor cosmice din spatele scenei, ca să zicem așa.

După ce dimensiunile multiple au fost inventate, teoreticienii au trebuit să le ascundă pentru a păstra lumea așa cum o știm. Acest lucru se realizează printr-un truc numit „compactare”, prin care se rulează dimensiunile suplimentare precum spirele pe o bobină. Totodată trebuie să fie ascunse și un număr infinit de vibrații nedorite, sau ipoteticele particule masive, care sunt totuși mai mici decât cea mai mică cantă de spațiu observabil permisă de teorie, numită lungimea Planck. Este ca în poezia Cavalerului Alb a lui Lewis Carroll:

*Mă gândeam la un plan
De a-i vopsi favoriții-n verde
Și-apoi, acoperiți de-un evantai,
Nimeni să nu-i mai vadă.*

La sfârșitul secolului, mulți fizicieni teoreticieni au ajuns să prefere membranele corzilor, ca obiecte vibratorii de bază. Se pare că o membrană într-un spațiu cu 11 dimensiuni ar putea include toate tipurile de supercorzi. Astfel, putem să ne închipuim membrana rulându-se ca un pai pentru băut, astfel încât chiar să semene cu o coardă.

● Ce e frumos este oare și adevărat?

A vorbi despre teoria supercorzilor devenise deja un lucru demodat. De aceea, Witten și-a numit noua teorie, pe care a prezentat-o în 1995, teoria M, specificând că „M poate semnifica Magie, Mister sau Membrană, după cum vă place”. Alții susțin că ar însemna Mama tuturor teoriilor. Pe cât se poate vedea cu ochii minții, printre abisurile și spirele spațiului 11-dimensional, există destule direcții potențiale în fizica și matematica teoriei M pentru a da de lucru sutelor de cercetători ani buni de acum încolo.

Nu se putea însă trece cu vederea un aspect evident și uluitor. Acesta era lipsa celei mai mici dovezi directe privind validitatea fie a teoriei supercorzilor, fie a teoriei M ca descrieri ale lumii reale. Au fost încorporate retrospectiv părți mari din fizica particulelor și din cosmologie, iar teoriile au fost adaptate pentru aceasta.

Unii critici s-au întrebat dacă nu cumva întreaga teorie a corzilor și a membranelor vibrante vor deveni note de subsol în istoria științei, ca și muzica planetelor lui Kepler. Alții și-au reamintit dezbaterile despre câți îngeri pot dansa pe un vârf de ac – acesta fiind precursorul medieval al lungimii lui Planck. Teoreticienii care nu au participat la crearea acestei teorii și care s-au bucurat pentru că ideea corzilor era cercetată în profunzime, au regretat totuși faptul că au fost neglijate abordările radical diferite ale Teoriei Finale.

Ca susținător al inițiatorilor, Witten a comentat în 2001: „Dacă se va dovedi că teoria corzilor, care a dus la atâtea descoperiri miraculoase de-a lungul deceniilor, nu are nimic de-a face cu Natura, acest lucru mi s-ar părea o conspirație cosmică remarcabilă”. Dar trebuie remarcat sensul teoretic în care folosește Witten termenul „descoperire”. Acesta se referă la descoperirea unor relații matematice elegante care, pentru un cercetător pragmatic, reprezintă cu totul altceva decât a descoperi o nouă planetă, o nouă particulă sau chiar o coardă de chitară mai bună. Însă încrederea în eleganța matematică, sau în frumusețe, ne amintește de versurile poetului John Keats:

„Frumusețea e adevăr, iar adevărul, frumusețe” – aceasta este tot ceea ce știm pe-acest Pământ și tot ceea ce trebuie să știm.

Pasiunea pentru eleganță le-a fost de folos fizicienilor, încă de pe când Kepler și-a folosit înclinațiile semi-mistice pentru a descoperi legile practice ale mișcărilor planetelor, legi care sunt în vigoare și azi. O teorie corectă poate fi frumoasă din punct de vedere matematic, dar asta nu implică faptul că o teorie frumoasă trebuie să fie în mod necesar corectă. Distrugerea creată de adevăruri urâte a lăsat în urmă balast de-a lungul istoriei.

Merită să reamintim aceste adevăruri banale, deoarece o întreagă generație de fizicieni teoreticieni s-a aventurat în necunoscut mai mult ca niciodată, fără a avea sprijin experimental sau empiric. Nimeni nu poate ști care va fi rezultatul,

din moment ce sunt incluse și adevăruri urâte. Dacă se va dovedi că teoreticienii corzilor au dreptate, atunci aceasta va fi cea mai mare realizare a intelectului uman în direcția revelării secretelor Universului. Dar e posibil să mai treacă decenii sau chiar secole până când vom afla adevărul.

● Corzile masive sunt complet diferite

Un verdict mult mai rapid poate fi pronunțat cu privire la corzile cosmice, care nu trebuie confundate cu supercorzile. Acestea sunt structuri masive, imense, care concentrează energia primordială în forma unor fascicule foarte subțiri, atât de dense încât un fascicul în lungime de câțiva kilometri ar cântări cât întreg Pământul. Dacă am putea vedea o coardă cosmică, aceasta ar apărea ca o crăpătură într-un geam, modificând sensibil pozițiile stelelor și galaxiilor mai depărtate.

Vibrația unei coarde cosmice ar lua forma undelor gravitaționale – ondulații în structura spațiului însuși. Prin emisia acestora, coarda cosmică ar pierde energie și ar avea tendința să dispară. Dar, după cum afirma Tom Kibble de la Imperial College din Londra în 1976, corzile cosmice puteau foarte bine să se fi format în timpul Big Bang-ului.

Este posibil ca acestea să fi jucat un rol important în condensarea materiei pentru a forma galaxiile. Dacă este așa, corzile cosmice au influențat harta concentrării materiei în Universul timpuriu, detectată de sateliții care înregistrează fondul de microunde din spațiul cosmic. Primele rezultate nu au adus nicio dovadă a existenței lor, dar rămâne de văzut ce se va mai petrece până în anul 2010.

► Pentru subiecte înrudite, vezi **GRAVITAȚIA și SPARTICULELE**.



TRAFICUL CELULAR

Coduri zip, pietre pentru a pași și recunoașterea complexității vieții

IN ANII 1920, LA ȘCOALA MEDICALĂ DIN LIÈGE, Albert Claude era dezamăgit de microscopul lui. În apropiere, la Louvain, Theodor Schwann afirmase în mod public încă din anul 1839 că toate animalele sunt alcătuite dintr-un număr mare de celule vii, fiecare dintre ele fiind un organism de sine stătător. Dar cine ar fi putut spune cum funcționau celulele?

Protoplasma din interior semăna cu o gelatină ce conținea niște particule minuscule. O jumătate de secol mai târziu, Claude a spus: „Îmi amintesc și acum perioada studenției, când petreceam ore în șir la microscopul optic, reglând la nesfârșit șurubul micrometric și privind contururile neclare care ascundeau misterioasa materie în care s-ar fi putut găsi mecanismele secrete ale vieții celulare.”

Tânărul belgian s-a angajat la Institutul de Cercetare Medicală Rockefeller din New York în anul 1929. De-a lungul deceniilor următoare a căutat neobosit metode mai bune pentru a descifra acele mecanisme secrete. A descoperit o cale de a „pisa” celulele într-un mojar și de a separa componentele celulare prin centrifugări repetate.

Claude a fost încântat să descopere că diferitele componente, numite organite, rezistau acestui tratament brutal și continuau să-și îndeplinească funcțiile în eprubetele sale la fel ca în celulele vii. Separările au dezvăluit, de exemplu, că mitocondriile de formă ovală sunt centralele energetice ale celulelor. Un alt belgian, Christian de Duve, a identificat în aceste separări un sistem de eliminare a reziduurilor extrem de distructiv, sub forma unor organite numite lizozomi.

Disponerea organitelor în cadrul celulei a devenit mult mai clară cu ajutorul microscopului electronic, descoperit de fizicieni în anii 1940. Trecerea de la microscopul optic la cel electronic a echivalat, în biologia celulară, cu trecerea, în astronomie, de la studiul cu ochiul liber la studiul cu ajutorul telescopului folosit pentru prima dată de Galileo. În urma contribuțiilor esențiale ale biochimiei, și ulterior ale biologiei moleculare, complexitatea vieții celulare a devenit, în cele din urmă, parțial vizibilă. Și era cu adevărat uimitoare.

„Am învățat să apreciem complexitatea și perfecțiunea mecanismelor celulare, miniaturizate la maxim la nivelul molecular, care relevă, în cadrul celulei, o

cunoaștere incomparabilă a legilor fizicii și chimiei”, afirma Claude în 1974. „Examinând realizările omului în cele mai avansate direcții, teoretice și practice, descoperim că celula a realizat toate acestea cu mult înaintea lui, cu o mai mare ingeniozitate și cu o mult mai mare eficiență.”

● O bolboroseală

Un alt tânăr coleg de-al lui Claude, George Palade, a descoperit ribozomii, mașinării moleculare complexe, cu ajutorul cărora celula produce proteine. Aceștia rezidă într-o fabrică, o rețea de membrane ce poartă numele greu de pronunțat de reticul endoplasmatic. Și s-a dovedit că imediat ce sunt produse, proteinele se îndreaptă spre un alt organit celular numit complexul Golgi, care funcționează ca un oficiu poștal, direcționând produsul către destinația lui finală.

Centrale energetice, sisteme de eliminare a reziduurilor, fabrici, oficii poștale – celula vie s-a dovedit a fi un veritabil oraș la scară microscopică, cu nucleul celular pe post de primărie, depozitul de gene. Era foarte pitoresc; dar cum funcționa acest oraș? Cum se puteau organiza niște molecule lipsite de rațiune cu o asemenea eficiență?

Gândiți-vă puțin. Fiecare celulă conține aproximativ un miliard de molecule proteice, formate din secvențe de subunități, aminoacizi. Unele au câteva zeci de subunități și altele, mii. Exceptând proteinele folosite pentru construcție, multe joacă un rol chimic, ca enzime, generând mii de reacții diferite și foarte specifice. Toate acestea sunt necesare pentru a menține celula în viață și pentru ca ea să-și joace rolul specific printre cele 100 de milioane de milioane de alte celule din corpul vostru.

Proteinele sunt în mod continuu distruse sau reconstruite, în funcție de necesitățile celulei din fiecare moment. Transcripția unei gene ajunge la fabrica de proteine la momentul potrivit, atunci când este nevoie de o nouă proteină. Dar apoi, cum știe o proteină nou formată unde să meargă? O problemă înrudită este cum pot ști membranele impermeabile, construite să delimiteze exteriorul de interiorul organitelor și al celulelor, când e bine să permită trecerea unei proteine esențiale prin ele?

Peste tot în lume, biologii s-au grăbit să continue cercetările de la Institutul Rockefeller și să rezolve problemele de ordin tehnic și intelectual pe care acestea le puneau. Cei din New York au avut un avans, și următorul mare pas a fost făcut tot de ei, deși în 1965 Institutul și-a schimbat denumirea în Universitatea Rockefeller. Acolo, în anii 1970, Günter Blobel a descoperit că moleculele proteice conțin mici extrasegmente care le indică unde trebuie să meargă. Acestea sunt echivalentul codurilor poștale de pe o scrisoare – sau coduri zip, cum le numesc cei din Big Apple (o poreclă a orașului New York).

Mai târziu, Blobel a arătat cum poate un cod zip să acționeze de asemenea ca o parolă ce deschide un canal îngust într-o membrană, pentru a lăsa proteina să se

strecoare prin el. Pentru aceasta, molecula proteică în mod normal grupată în mănunchi trebuie să se desfășoare pentru a lua forma unui fir lucios. Aceleași coduri zip sunt folosite în cazul animalelor, plantelor și drojdiilor, care au avut un ultim strămoș comun cu aproximativ un miliard de ani în urmă. Astfel, aceste tructuri celulare sunt foarte vechi și totodată păstrate cu grijă, deoarece sunt vitale.

Specialiștii în biologie celulară de la Basel, Cambridge și Londra au continuat această cercetare identificând coduri zip care direcționează proteinele către centralele energetice (mitocondriile) sau către primărie (nucleul celular). Oamenii de știință europeni au investigat, de asemenea, ceea ce un specialist în biologie celulară de origine finlandeză, Kai Simons, a numit „o bolboroseală”. Obiecte asemănătoare unor minuscule baloane de săpun, observate a fi în continuă mișcare într-o celulă, erau curieri poștali ce făceau livrări speciale de proteine.

La New York, Palade a descoperit că moleculele proteice ce urmează să fie exportate dintr-o celulă sunt învelite într-un alt material proteic împrumutat de la o membrană dinăuntrul celulei. Astfel este format micul balon. Când ajunge la peretele exterior al celulei, bula se contopește cu membrana acestuia. În timpul acestui proces, proteina transportată este eliberată în mediul exterior, fără a se crea vreo spărtură în peretele celulei prin care să intre sau să iasă alte substanțe.

● Hamalii proteici și plutele de grăsime

La Laboratorul European de Biologie Moleculară din Heidelberg, în anii 1980, Simons și colaboratorii săi au confirmat și au extins acest tablou al bulelor cu rol de colete poștale. Ei au folosit un virus pentru a urmări traseul bulelor ce unește diferite părți ale unei celule. La fel ca virusurile mai importante din punct de vedere medical, cum ar fi cele care provoacă frigurile galbene sau SIDA, virusul Pădurii Semliki din Uganda se strecoară în celulă, exploatând un sistem prin intermediul căruia peretele exterior al celulei se curăță și se regenerează în mod continuu. Experimentatorii de la Heidelberg l-au ales pe post de „copoi”.

Printr-o inversare a tehnicii de export a proteinelor, peretele celulei înghite virusul într-un buzunar, care apoi se strangulează singur înăuntrul celulei, rezultând o bulă nouă ce călătorește prin interiorul celulei. Ea este direcționată, așa cum e normal, spre sistemul de eliminare a reziduurilor. Pe drum, virusul evadează ca un prizonier din duba închisorii.

Apoi virusul forțează sistemele de fabricație ale celulei să realizeze zeci de mii de noi virusuri alcătuite din material genetic aflat în proteine. Celula victimă direcționează conștiincios fiecare dintre progeniturile virusului, învelite cu grijă într-o bulă înșelătoare, înapoi către peretele celulei. Într-un gest de adio, virusul fură o parte din perete pentru a-l folosi drept înveliș permanent, astfel încât să apară drept prieten următoarei celule pe care o va ataca. Secretul tuturor acestor tertipuri mortale este că virusul cunoaște codurile zip.

Următoarea întrebare era cum se deplasau bulele. Specialiștii în biologia celulară credeau că acestea ar putea călători de-a lungul traverselor moleculare care

întretaie celula numite microtubuli. Aceștia mențin diferitele organite pe loc sau le re pozi ționează, în funcție de necesități, și sortează cromozomii din nucleu atunci când celula se reproduce. În celulele musculare, molecule proteice de acest tip, mult mai dezvoltate, produc contracțiile cu ajutorul cărora se realizează fiecare acțiune musculară.

La sfârșitul anilor 1980, Ronald Vale era convins că bulele călătoreau de-a lungul microtubulilor precum telecabinele. El a petrecut următorii zece ani mai întâi la Woods Hole, Massachusettes, și apoi la UC San Francisco, urmărind să explice modul de funcționare al acestui mecanism. Descoperirea sa a fost uimitoare. Proteine mici dar puternice, cu două piciorușe, numite kinezine, țin strâns încărcătura și merg cu ea de-a lungul microtuburilor.

La fel ca cineva care traversează un lac pășind de pe o piatră pe alta, kinezina se poate fixa de microtubul doar în anumite puncte. Când unul dintre piciorușe este plasat în siguranță, celălalt este balansat înainte spre următorul punct de-a lungul microtubulului, și așa mai departe. Cei impresionați de incredibila eficiență a Mamei Natură, ba chiar am putea spune inventivitate tehnologică, se pot liniști la gândul că, uneori, „hamalul” proteic pune un picior greșit și se desprinde, împreună cu încărcătura sa.

„Kinezinele motoare, responsabile cu acest tip de transport, sunt cele mai mici mecanisme mobile din lume, chiar cele mai mici din lumea proteinelor”, a afirmat Vale. „Astfel, pe lângă importanța lor biologică, este interesant cum aceste mecanisme foarte compacte – cu multe ordine de mărime mai mici decât orice altceva creat de om – și-au dezvoltat această abilitate de a genera mișcarea.”

Plutele asigură un alt mod de transport al materialelor în jurul celulei. Simons și grupul său de la Heidelberg au fost fascinați de grupările plane de molecule de grăsime. Având denumirea formală de plute lipidice, acestea transportă proteine și au un rol important în formarea tegumentelor și mucoaselor organismelor expuse mediului exterior. Aceste suprafețe sunt formate din straturi dispuse spate în spate, ce au aspecte foarte diferite în funcție de orientarea lor spre interior sau spre exterior. Întrebarea principală era cum se grupează plutele din mers, astfel încât părțile componente să se orienteze fiecare în direcția cea bună.

● O îmbinare a tuturor aptitudinilor

În 1998, în timp ce încă se străduia să descifreze misterul plutei de grăsime, Simons a devenit directorul fondator al Institutului de Biologie Celulară și Genetică Moleculară Max Planck din Dresda. Acest laborator absolut nou era o încercare conștientă de a reorienta biologia. Dacă ultimii 100 de ani au reprezentat secolul genelor, următorii 100 vor reprezenta cu siguranță secolul celulei.

Fiecare întrebare care a primit un răspuns, de când tânărul Albert Claude a început să stea ore în șir aplecat asupra microscopului său, în Liège, cu 70 de ani în urmă, a dat naștere altor o sută. Simons a ridiculizat mult timp viziunea unidi-

mensională, mult prea încrezătoare a unor biologi moleculari care credeau că prin simpla identificare a genelor specifice și a proteinelor catalogate sarcina lor a luat sfârșit. „Era posibil”, se întreba el, „ca biologia moleculară să fie atât de plictisitoare încât să cedeze întreaga sa agendă unui asalt reduționist al unei generații de specialiști ingenioși?”

Chiar și metafora orașului pentru celulă este depășită, fiind mai degrabă plană și statică. Complexitatea celulei se extinde în mod necesar în trei dimensiuni. În patru chiar, dacă iei în considerare timpul în succesiunea evenimentelor, în schimbările care apar într-o celulă cu fiecare secundă sau zi care trece, și în ceasul biologic prezent peste tot. De asemenea, desuetă este și împărțirea biologilor în tabere diferite – nu doar prin vechile etichete – anatomie și fiziologie – de pe clădirile din secolul al 19-lea, dar și prin mult mai recente bisericiuțe ce sunt la modă. Dezlegarea misterului celulei, în toată complexitatea și diversitatea sa, necesită o îmbinare a tuturor aptitudinilor relevante atât la nivel tehnic cât și conceptual.

„Sunt vremuri pasionante pentru biologi”, a spus Simons, așteptând cu nerăbdare evoluția biologiei celulare în secolul al 21-lea. „Trecem de la molecule la mecanisme, iar granițele dintre ramurile științei au început să dispară. Biochimistii, specialiștii în biologie celulară, geneticienii, imunologii, microbiologii, neurobiologii și farmacologii folosesc cu toții același limbaj molecular.”

- Pentru subiecte strâns înrudite, vezi **CICLUL CELULEI**, **MOARTEA CELULEI**, **FORMAREA PROTEINELOR** și **PROTEOME**. Pentru informații despre organizarea celulelor cu funcții diferite, vezi **EMBRIONII**, **SISTEMUL IMUNITAR** și **CEASURILE BIOLOGICE**.



UNDELE GRAVITAȚIONALE

Universul cutremurat de știri „cu greutate”

DISTRICTUL HANFORD DIN STATUL WASHINGTON este de fapt un deșert plat, cu arbuști, și totodată o zonă părăsită datorită testelor nucleare efectuate aici și îngropării deșeurilor radioactive. În anul 2002, această pustietate urma să găzduiască un nou model de telescop gigantic, făcând parte din cel mai mare detector din lume, care avea nevoie de un spațiu foarte vast. În loc să folosească obișnuitele lentile sau oglinzi pentru a scruta cosmosul, acesta funcționa cu fascicule de raze luminoase care efectuau mișcări oscilatorii în interiorul unor tuburi. Acestea examinează schimbările infime și ritmice ale distanțelor dintre oglinzile de la extremitățile celor două tuburi lungi de patru kilometri, dispuse în forma literei L.

Un alt instrument de dimensiuni comparabile urma să fie pus în funcțiune la 3 000 de kilometri depărtare, în pădurile de conifere de la Livingston, Louisiana. Cele două detectoare americane, ingenios proiectate de fizicieni de la Caltech și de la Institutul de Tehnologie Massachusetts (MIT), includeau Observatorul de Unde Gravitaționale prin Interferometrie Laser (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory – LIGO). În paralel, în Japonia, în Germania și în Italia erau în pregătire instrumente de dimensiuni mai mici, în formă de L, funcționând pe principii similare. O finanțare comună de ordinul sutelor de milioane de dolari indica interesul mondial pentru a descoperi undele gravitaționale, a căror existență fusese prezisă de Albert Einstein în urmă cu 80 de ani.

După atâția ani, teama fizicienilor de ideile lui Einstein părea de-a dreptul comică. Echivalența masei cu energia reprezenta un fapt cu adevărat înspăimântător pentru ei, iar ecuația $E=mc^2$ aplicată armelor nucleare încă ne mai poate fi fatală tuturor. Dar simpla alarmă intelectuală creată în jurul relativității generalizate, teoria gravitației enunțată și dezvoltată de Einstein între anii 1915–1917, a împiedicat dezvoltarea științei în mai multe domenii pe perioada întregii sale vieți.

Einstein însuși ajunsese pe punctul de a renega aceste idei despre găurile negre și antigravitație, ambele considerate în prezent ca fiind reale. Chiar și discipolii săi considerau că ecuațiile lui nu reprezentau realitatea, ci erau doar instrumente cu ajutorul cărora s-ar fi putut ajunge la răspunsuri corecte. Unii specialiști în teoria relativității au considerat că nu este necesar ca lumina să-și încetinească

viteza atunci când trece prin apropierea Soarelui, până când observațiile radarelor asupra planetei Venus, efectuate în anii 1970, au demonstrat că exact astfel se comporta lumina.

Dar ce se întâmplă oare cu undele gravitaționale, mediul invocat de Einstein pentru transmiterea știrilor „cu greutate” prin Univers? Este la fel de puțin probabil să le simțim, precum ar fi să vedem traiectoria calculată a unei ghiulele de tun fâlfâind în urma acesteia, ca o coadă de zmeu. În 1957, la doi ani după moartea lui Einstein, Hermann Bondi de la Kings College din Londra a respins această perspectivă sceptică.

El a argumentat prin faptul că o undă gravitațională poate face niște bile să oscileze pe o tijă. În cazul în care tija ar fi suficient de aspră pentru a produce o frecare oricât de mică, s-ar genera căldură. În consecință, unda ar fi capabilă să transfere energie tijei, și deci trebuie să aibă o semnificație fizică reală.

Nimeni nu-și propusese să caute unde gravitaționale cu ajutorul unui abac și al unui termometru, însă experimentul mental al lui Bondi a încurajat cercetări aprofundate prin alte mijloace. În anii 1970 au apărut dovezi indirecte ale existenței undelor gravitaționale, de la o pereche de stele care orbitau una în jurul celeilalte, schimbau energie prin undele gravitaționale și se apropiau din ce în ce mai mult una de cealaltă, pe o traiectorie spiralată. Această descoperire a astronomilor americani a fost posibilă pentru că una dintre cele două stele era un radiopulsar a cărui traiectorie putea fi observată cu acuratețe. Pentru aceasta, Joseph Taylor și Russell Hulse au primit Premiul Nobel pentru fizică.

În primele încercări de a detecta în mod direct undele gravitaționale s-au utilizat bare metalice construite pe principiul diapazonului, astfel încât să intre în rezonanță cu undele gravitaționale de lungime de undă corespunzătoare care le impactau. În 1969 oamenii de știință din SUA au declarat că cercetările lor au fost încununate de succes, fapt care nu s-a putut proba. Experimentele cu bare au continuat, însă de la începutul secolului al 21-lea detectoarele preferate au devenit razele laser și antenele uriașe în formă de L.

De ce în formă de L? Undele gravitaționale întind și comprimă spațiul, întâi într-un sens, apoi în celălalt. Astfel, în timp ce una dintre laturile „L”-ului este lungită, cealaltă este scurtată. După o jumătate de lungime de undă, latura întinsă s-a scurtat iar cea scurtată s-a alungit. Variațiile lungimii laturilor „L”-ului reprezintă mai puțin de o miliardime din dimensiunea unui atom. Pentru a putea observa aceste modificări minore este nevoie de sisteme optice performante, care funcționează în condiții de vid înalt.

Undele gravitaționale reprezintă versiunea ondulatorie a forței mareelor, cu ajutorul căreia forțele de gravitație ale Lunii și Soarelui fac să avanseze și apoi să se retragă apele oceanelor cu distanțe de ordinul metrilor sau milimetrilor. Mareele reprezintă un aspect al forței gravitaționale obișnuite, pe care Newton l-a înțeles. Undele gravitaționale transmit forța mareelor produse de stele îndepărtate la dis-

tante mult mai mari decât și-ar fi putut imagina Newton. Einstein a demonstrat că ele ar putea dilata sau contracta chiar structura spațiu-timpului. Să ne bucurăm așadar că spațiul este foarte rigid, pentru că altfel ne-am descompune în bucăți.

O altă comparație care se poate face este cu undele radio. La începutul secolului al 19-lea, fizicienii erau de părere că fenomenele electrice și magnetice sunt limitate la vecinătatea firelor conductoare și a magnetilor, incluzând aici și câmpul magnetic terestru. Descoperirea undelor electromagnetice a însemnat eliberarea forțelor electrice, care puteau fi de acum transmise la distanțe mari. Astfel s-a aflat că Pământul este „scăldat” în unde radio, provenite nu doar de la fulgere, de la zgomotul transmisiilor radio, de televiziune sau radar, ci și de la Soare, de la stele sau de la galaxii îndepărtate.

Radiația electromagnetică, ce include și lumina, este creată prin accelerarea sarcinilor electrice. Tot astfel, accelerarea maselor generează unde gravitaționale. Călătorind cu viteza luminii, 300 000 de kilometri pe secundă, ele au aceeași capacitate de a parcurge distanțe uriașe în spațiul cosmic.

Cu excepția radiației cosmice, a meteoriților și a explorărilor locale efectuate cu ajutorul sondelor spațiale, toate cunoștințele noastre actuale despre Univers au fost obținute cu ajutorul undelor electromagnetice. Pe lângă confirmarea unui aspect al teoriei remarcabile a lui Einstein, detectarea directă a undelor gravitaționale va deschide totodată o nouă fereastră spre cosmos.

● Următorul pas: o antenă în spațiu

S-a calculat că energia undelor gravitaționale provenite din cosmos este mult mai puternică decât lumina lunii. Un zgomot de fond datorat unor cutremure minore îndepărtate sau chiar traficului rutier limitează probabil capacitatea de recepție a antenelor de sol la lungimile de undă cuprinse între 300 și 30 000 de kilometri, ceea ce corespunde aproximativ frecvențelor, exprimate în cicli pe secundă, accesibile urechii umane. Bubuitul exploziei unei stele din Calea Lactee sau dintr-o galaxie învecinată, sau coliziunea a două stele neutronice cu o densitate foarte mare reprezintă posibile surse de unde gravitaționale accesibile la suprafața Pământului, dar astfel de evenimente sunt foarte rare.

„Detectoarele noastre de la sol ar trebui să înregistreze undele gravitaționale de lungime scurtă”, a afirmat Karsten Danzmann, membru al proiectului germano-britanic GEO600, aflat în desfășurare lângă Hanovra. „Dar Pământul este o planetă zgomotoasă, iar perturbațiile continue îl ecranează de lungimile de undă mai mari despre care noi considerăm că includ cele mai puternice și mai obișnuite forme de unde gravitaționale. Tot așa cum o navă spațială trebuie să se înalțe deasupra atmosferei pentru a avea o viziune clară a radiației infraroșii din Univers, la fel avem nevoie de o antenă în liniștea spațiului interplanetar pentru a putea detecta undele gravitaționale cu lungimi de undă mari”.

În jurul anului 2011 se preconizează lansarea unui proiect extraordinar numit Antena Spațială cu Interferometru Laser (Laser Interferometric Space Antenna –

LISA). NASA și Agenția Spațială Europeană (ESA) vor deveni parteneri în realizarea celui mai îndrăzneț experiment de fizică desfășurat vreodată în spațiu. Pentru acest eveniment va fi nevoie de trei nave spațiale care să orbiteze în jurul Soarelui într-o formație triunghiulară, la o distanță de cinci milioane de kilometri una față de cealaltă. Raze laser cu o putere de numai 1 Watt vor face naveta între ele, comparând distanțele imense dintre cuburile din aliaje de aur și de platină ce plutesc în imponderabilitate în interiorul fiecărei nave. Cu ajutorul lor se vor detecta modificările relative de ordinul miimilor din dimensiunea unui atom survenite în spațiul enorm parcurs.

Dificultățile sunt evidente, dar în cazul unui succes, proiectul LISA promite o revoluție în astronomie. Vor fi multe de văzut. Stelele duble orbitând foarte aproape una de cealaltă ar trebui să fie surse uzuale de unde gravitaționale detectabile de o antenă amplasată în spațiu. Spre exemplu, în constelația Săgetătorului (Sagittarius), două stele numite WZ Sagittae se rotesc una în jurul celeilalte cu o perioadă de 82 de minute. Undele gravitaționale ale sistemului astfel creat vor avea o perioadă de 41 de minute și o lungime de undă de 740 de milioane de kilometri.

Ciudățeniile unor obiecte dense precum găurile negre și stelele neutronice, care sunt doar presupuse din observațiile razelor electromagnetice, vor putea fi observate direct cu ajutorul undelor gravitaționale. Coliziunile dintre astfel de obiecte ar trebui să fie detectate în vastitatea spațiului cosmic. Dar ceea ce le taie răsuflarea fizicienilor este gândul că cele mai importante știri ar putea proveni de la accelerațiile maselor în timpul Big Bang-ului, în presupusul moment originar al Universului.

Astronomii care folosesc lumina și alte unde electromagnetice sunt complet orbi față de evenimentele petrecute în perioada primilor 400 000 de ani de la Big Bang, la sfârșitul căreia lumina, cunoscută ca fiind de fapt microunde cosmice, a evadat pentru prima dată din ceața electronică fierbinte. Bernard Schutz de la Institutul Albert Einstein din Germania, participant atât la proiectul GEO600, cât și la pregătirea proiectului spațial LISA, era convins că undele gravitaționale pot depăși aceste bariere.

„Undele gravitaționale ar trebui să pătrundă prin ceața primordială și să ne aducă informații începând cu primul moment al Big Bang-ului”, a spus Schutz. „Aceasta ar fi cea mai uluitoare descoperire din fizica spațială pe care mi-o pot imagina. Vor fi detectoarele noastre suficient de sensibile? Nu vom ști niciodată dacă nu vom încerca.”

- Pentru o perspectivă mai extinsă asupra teoriei lui Einstein, vezi **GRAVITAȚIA** și referințele acestui capitol.



„Trebuia să se fi știut că venim”

A COLO UNDE DEȘERTUL MEXICAN SONORAN aproape că invadează Arizona, un coș vulcanic marchează vârful ascuțit al muntelui Baboquivary. Este cel mai sacru loc al neamului Tohono O'odham, cunoscut în vechime ca tribul indienilor Papagos. Vârful este reședința zeului I'toi Creatorul și reprezintă axa în jurul căreia stelele se rotesc.

Această idee a nativilor americani despre Baboquivary este tipică în toate cosmologiile tradiționale din lume. În 1969, acest vârf i-a servit drept exemplu concret astrofizicianului Philip Morrison, care vizita Arizona din partea Institutului de Tehnologie Massachusetts (MIT), la confirmarea, cu tristețe, a triumfului teoriei Big Bang-ului.

„Timp de o generație sau două vom rămâne la cea mai naivă cosmologie”, a spus Morrison. „Și doar dacă o generație mai înțeleaptă și mai experimentată va veni după noi, vom putea schimba acest lucru. Probabil că ei vor vedea că aceasta este, și ea, o prejudecată provincială”.

Morrison vorbea despre descoperirea fundalului cosmic de microunde, anunțată în 1965. Aceasta aducea în discuție timpurile în care întregul spațiu cosmic era la fel de fierbinte ca Soarele și a demonstrat falsitatea cel puțin a versiunii originare a teoriei stării staționare, care apăruse în 1948. Această teorie susținea că Universul era infinit și staționar, și că materia nouă este creată în mod continuu pentru a umple spațiile vide tot mai mari dintre galaxii, datorate expansiunii cosmice.

Nu râdeți. Cel mai fervent susținător al teoriei stării staționare a fost Fred Hoyle de la Cambridge, unul dintre cei mai inteligenți astrofizicieni ai secolului al 20-lea. Mulți dintre colegii săi, inclusiv Morrison însuși, au preferat această idee. Organizația Science Service din Washington DC a realizat un sondaj printre experți, în 1958, din care a rezultat că părerile erau aproape egal împărțite între teoriile stării staționare și a Big Bang-ului.

Cu toate acestea, toți au răspuns cu un Nu emfatic la întrebarea: „Este un astfel de sondaj folositor științei?” Șuieratul slab al fondului cosmic de microunde, mai mult decât orice schimbare a preferințelor personale, a sprijinit ideea că totul a

început cu o explozie creativă, la un moment dat în timp. De asemenea, a pus un înveliș cerului.

● Recuperarea imaginii unui cosmos confortabil

Cosmologia populației Tohono O'odham, centrată pe un ax reprezentat de vârful Baboquivary, nu a fost singura credință pusă sub semnul întrebării de către progresele astronomiei. Mințile luminate ale Europei se înșelau la rândul lor, în convingerea lor că stelele se învârtesc în jurul Pământului.

Cu aproape 700 de ani în urmă, poetul Dante Alighieri a urmat, în opera sa *Divina Comedie*, modelul savanților vremii sale, ce presupunea că stelele decorau o sferă rotativă rigidă, care depășea cu puțin orbita lui Saturn, cea mai îndepărtată planetă cunoscută la acea vreme. În acel cosmos foarte compact, oricine se putea simți ca acasă printre stele. Cerul era plin de spirite invizibile prietenoase și de sufletele defuncțiilor moderat păcătoși. Acestea aveau un rol dinamic în sistemul geocentric. Rotația Soarelui și a stelelor preciza durata zilei sau a nopții, iar pentru astrologi, planetele și cometele care dansau erau mesageri ce prevedeau evenimentele viitoare pe Pământ.

Progresele teoretice și tehnice au spulberat sferele celeste ale cosmologiei europene medievale și au revelat un Univers mult mai mare. Telescoape de puteri tot mai mari evidentiau din ce în ce mai multe stele care populau un Univers în permanentă expansiune. Pe la începutul secolului al 19-lea, când granițele galaxiei Calea Lactee deveneau vizibile, era deja clar că Soarele nu se afla nici pe departe în centrul Universului.

Socotind după timpul necesar luminii pentru a parcurge distanțele, stelele se pare că se află la o distanță de câțiva ani-lumină sau chiar câteva mii de ani-lumină depărtare. Apoi s-a dovedit că multe pete de lumină de pe cerul nopții erau de fapt grupări imense de stele, galaxii ca și Calea Lactee, răspândite de-a lungul a milioane de ani-lumină în spațiu. Pe măsură ce aceste milioane au devenit miliarde, la jumătatea secolului al 20-lea, Universul observabil părea să se extindă dincolo de orice limite.

Nu mai era deloc un spațiu adecvat agorafobicilor. Iar constatarea că Pământul nu-i altceva decât un fir de praf rotindu-se în jurul unei stele mediocre, undeva în suburbiile unei galaxii ca toate celelalte, era pur și simplu umilitoare. Și totuși, viziunea acestui cosmos de la jumătatea secolului al 20-lea era, filozofic vorbind, prietenoasă, întrucât într-un spațiu-timp infinit marile întrebări referitoare la origine și destin deveneau prea abstracte pentru a ne mai preocupa.

Descoperirea fundalului cosmic de microunde a îngrădit acest Univers observabil cu o graniță la fel de perfect rotundă ca și sfera stelelor fixe ce mărginea cosmosul lui Dante. Fundalul de microunde este cea mai îndepărtată sursă a oricăror radiații asemănătoare luminii, capabile să atingă Pământul. El provine din cea mai apropiată margine a unui banc de ceață, în care electronii liberi blochează radiația

de la distanțe mari. Această sferă este îndepărtată, dar cu siguranță nu se află la infinit, iar zonele fierbinți de gaz concentrat observate în fondul de microunde foarte îndepărtat apar mai mari pe cer decât Luna din vecinătate. Simpla lor dimensiune face cosmosul să pară din nou compact, ba chiar confortabil.

Universul pe care astronomii îl pot observa este totuși destul de mare, față de viteza cu care poate fi străbătut – viteza luminii. Prin urmare, telescoapele sunt adevărate mașini ale timpului care ne înfățișează galaxiile îndepărtate nu așa cum sunt ele acum, ci cum erau în urmă cu miliarde de ani, când lumina pe care o vedem noi a pornit în lungă sa călătorie. La începutul secolului al 21-lea, se estima că fundalul de microunde se află la o distanță de aproximativ 13,5 miliarde de ani-lumină sau are 13,5 miliarde de ani vechime.

Pe partea noastră a fundalului, Universul după Big Bang este expus privirilor ca o colecție de muzeu. Între fundalul de microunde și apariția stelelor și a galaxiilor există o epocă întunecată de un miliard de ani sau poate mult mai puțin. Obiectele foarte îndepărtate sunt, de asemenea, foarte greu vizibile. Însă telescoapele performante și tehnicile de supraveghere oferă tot mai multe informații despre evenimentele de acum 12–13 miliarde de ani.

Tripla legătură dintre spațiu, timp și viteza luminii are o curioasă consecință, și anume faptul că o galaxie îndepărtată poate fi corect descrisă atât ca o galaxie foarte veche, cât și ca una foarte tânără. Veche – pentru că este ca o fosilă dintr-o eră preistorică, și tânără – pentru că o vedem la scurt timp după formarea ei. Acest lucru este la fel de paradoxal ca afirmația unui arheolog: „Acesta este scheletul unui copil, vechi de 10 000 de ani”.

Simplul fapt că Universul este în principiu observabil de la o distanță de 13,5 miliarde de ani-lumină nu ne asigură că a putut fi vizibil în totalitate. Nici pe departe. Unele obiecte sunt lipsite de strălucire la o distanță mare. Altele sunt ascunse în spatele unor nori denși de praf, fie că se află aproape sau departe. Și pentru fiecare stea, galaxie sau nor de gaz pe care telescoapele le înregistrează, există probabil de zece ori mai multă materie neagră, a cărei identitate nu a fost încă stabilită.

Dante credea că în spatele stelelor, ascuns privirilor muritorilor de rând, se află Paradisul. Principala ipoteză de astăzi susține că în spatele fundalului de microunde se ascunde mingea de foc a Big Bang-ului. Tot invizibilă ne este și o fracțiune necunoscută dintr-un Univers mai vast căruia îi aparținem, fracțiune formată probabil în timpul aceluiași eveniment. În fiecare an, pe măsură ce Universul se extinde, din acel banc cețos de microunde iese puțin câte puțin la iveală din această fracțiune. Ceea ce rămâne ascuns poate fi o parte mult mai importantă decât cea pe care noi o cunoaștem. Ar putea fi mult mai complexă.

Această istorie conservată a schimbării imaginii Universului, de la confortabil la agorafobic și înapoi la confortabil, are legătură cu avertismentul lui Philip Morrison din 1969. Fundalul de microunde este echivalentul orizontului din

Arizona, care îi împiedica pe indienii nativi americani să vadă cea mai mare parte din constelațiile din emisfera sudică. Pentru a evita o atitudine naivă, oamenii de știință și analiștii ar trebui să nu uite că ceea ce vedem noi ca fiind Universul nostru este o imagine în primul rând locală, probabil mult simplificată, a ceva mult mai mare.

● Fractali și chebaburi

În sinea lor, teoreticienii s-au gândit cu atenție la secunda în care a avut loc prima scindare, când Universul era foarte mic, în momentul exploziei inițiale. Drept remediu al aspectelor echivoce ale teoriei, ei au propus ipoteza că Universul microscopic „s-a umflat” foarte brusc. Și toate măsurătorile făcute de astronomi în cele mai îndepărtate zone din Univers, în timpul ultimelor decenii ale secolului al 20-lea, au sprijinit teoria Big Bang-ului.

Nu toată lumea a urmat aceeași ipoteză. De exemplu, Hoyle nu a renunțat niciodată la căutarea unei stări staționare a Universului, în pofida apariției teoriei Big Bang-ului. Un alt disident a fost celebrul matematician Benoît Mandelbrot. Geometria fractală dezvoltată de el la Paris în anii 1970 a transpus formele haotice concrete ale Naturii – norii, țărmurile, copacii ș.a.m.d – în domeniul pitoresc al noii matematici.

Una dintre ideile care l-au inspirat pe Mandelbrot a fost intuiția astronomilor că obiectele precum propria noastră galaxie Calea Lactee se află în grupuri, clusteri și superclusteri de mărimi foarte diferite. „Studiul roiurilor de galaxii a impulsionat în mare măsură dezvoltarea geometriei fractale”, a declarat Mandelbrot. „Iar astăzi utilizarea geometriei fractale în studiul roiurilor galactice depășește cu mult sarcinile de modelare sau de întreținere.”

El s-a alăturat luptei cu cosmologii pentru un principiu foarte apreciat, conform căruia cosmosul este ordonat la scară mare. Matematica simplă folosită pentru a calcula evoluția Universului în cadrul teoriei Big Bang-ului pornește de la ipoteza că densitatea materiei se compensează. Calculele ar fi incorecte dacă principiul ar fi încălcat.

În geometria fractală, formele similare reapar la scale diferite: mlădița, ramura, întregul copac. Și atunci, de ce nu ar fi la fel și pentru roiurile galactice, reiterându-și structura la scale din ce în ce mai mari, până când dispare întreaga ordine? Pentru că arborii nu trebuie să ajungă la un kilometru înălțime, ar replica opoziției săi. Reiterarea clusterilor galactici ar trebui să se oprească din creștere la un moment dat, la fel ca și progresia mlădiță-ramură-copac, astfel ca, în cele din urmă, totul să se compenseze, sau altfel spus – să se medieze.

Până la sfârșitul secolului, Mandelbrot împreună cu un grup de suporterii au susținut că roiurile galactice și spațiile vide dintre ele par să se reitereze la scale din ce în ce mai mari, oricât de departe și-ar fi extins astronomii măsurătorile distanțelor dintre galaxii. Dar la sfârșitul secolului al 20-lea, noile prospecțiuni au

făcut adevărate „salturi” la distanțe mult mai mari, unde nu s-a găsit niciun semn de prezență a acelor super-super-superroiuri galactice sau a giganticelor spații vide prezise de teoria fractală. Dimpotrivă, Universul îndepărtat semăna foarte mult cu Universul apropiat, în ceea ce privește formarea roiurilor de galaxii.

Această asemănare i-a dezamăgit în egală măsură și pe alți teoreticieni, care ar fi preferat ca aceste roiuri să fie mai rare la distanțe mari, astfel încât să se poată acumula pe măsura trecerii timpului. Însă un grup nonconformist de astrofizicieni germani observase deja natura puțin schimbătoare a roiurilor galactice și a spațiilor vide dintre ele. Ei au folosit aceasta pentru a demonstra că expansiunea Universului nu încetinește, după cum se așteptau cu toții, ci dimpotrivă, se accelerează.

Istoricii științei ar putea menționa că Wolfgang Priester de la Bonn și Dierck-Ekkehard Liebscher de la Potsdam au raportat această accelerare cosmică încă din 1994. Aceasta s-a petrecut cu peste trei ani înainte ca alți astronomi să anunțe, cu surle și tobe, acest proces de accelerare remarcat în urma observațiilor asupra stelelor care explodau. Grupul de la Bonn-Potsdam a folosit în schimb lumina quasarilor, faruri îndepărtate de mare intensitate, care străpungeau galaxiile pe care le întâlneau precum bucățile de carne dintr-un chebab.

Pozițiile a peste 1 000 de galaxii și nori de gaz, astfel revelate, au oferit imaginea unui Univers alcătuit din bule, cu roiuri de galaxii înconjurând mari spații vide. Bulele acestea creșteau în dimensiune pe măsură ce Universul se expansiona, însă viteza de creștere scădea la început datorită gravitației, au afirmat astrofizicienii germani. Apoi viteza de expansiune creștea, pe măsură ce agentul accelerator – numit constantă cosmologică sau energie neagră – începea să predomină. Colegii din Hamburg au confirmat acest rezultat.

„Nimeni nu a acordat prea multă atenție”, a comentat Priester. „Cosmologia noastră, a celor din colectivul Bonn-Potsdam, pornește de la o energie neagră autentică de acum 30 de miliarde de ani, iar astăzi Universul este din nou dominat de energia neagră. De asemenea, nu avem nevoie de niciun fel de materie neagră exotică. Ideile noastre se situează în afara domeniului teoriilor considerate elegante la jumătatea anilor 1990. Dar în cea mai importantă caracteristică a sa – accelerația – teoria noastră este corectă, iar cele mai răspândite teorii sunt greșite.”

● Reducerea specificațiilor

La începutul secolului al 21-lea teoria Big Bang-ului părea aproape incontestabilă, mai ales în privința ipotezei că Universul s-a dezvoltat prin expansiune și apoi prin răcire. Reflectând asupra stării de fapt, decanul cosmologilor din SUA, James Peebles de la Princeton, a declarat că evidența oferea deja un cadru cu o susținere destul de fermă pentru a îi asigura soliditatea.

Peebles a punctat principalele indicii. Galaxiile se îndepărtează de noi. Radiația termică umple spațiul, așa cum ar trebui s-o facă dacă Universul ar fi mai dens și

mai fierbinte. Pentru a produce mari cantități de hidrogen greu și heliu sunt necesare condiții de temperaturi înalte. Galaxiile îndepărtate par mai tinere, așa cum ar trebui să arate dacă ar fi mai apropiate în timp de perioada în care nu se formaseră încă galaxiile. Și expansiunea Universului este conformă predicțiilor teoriei gravitației a lui Albert Einstein.

„Desigur, încă mai există opinii diferite în cosmologie, dar ele se referă la anexe ale părții principale”, scria Peebles. De exemplu, el era convins că în Univers există multă materie neagră, dar era rezervat în privința descoperirii recente – pe atunci – a faptului că expansiunea cosmică se accelera. „Confuzia este un semn că suntem pe calea cea bună”, scria el. „Este ca și starea de agitație fertilă a unui șantier de construcții”.

Descoperirile următoare au redus specificațiile cosmosului observabil: dimensiune, vârstă, viteză de expansiune și masă. Au apărut și primele estimări ale împărțirii masei Universului în materie obișnuită, materie neagră și o imensă infuzie de masă provenind din energia neagră asociată cu accelerația cosmică. În acest proces, toate genurile de teorii cosmologice au fost anihilate, pentru că nu mai corespundeau evidenței.

Unii cosmologi au crezut atunci că munca lor de descriere a Universului se apropia de final. Alții, printre care câțiva dintre cei mai tineri, erau de altă părere. Diferențele de opinii au devenit evidente în 2003, în urma reacțiilor la rezultatele navei spațiale Wilkinson-MAP aparținând NASA, care localizase din nou zonele fierbinți generate de microunde, ce populau cosmosul la începuturile sale.

Pornind de la ideile standard se pot explica statisticile importante ale Universului. Însă pentru interpretarea modelului fundalului de microunde trebuie considerate ipoteze care ar putea fi corecte sau nu. Mai bine, ar spune scepticii, să privim fără prejudecăți minunatele hărți ale cerului realizate de navele spațiale Wilkinson-MAP și de alte experimente. Am putea astfel descoperi că Universul nu este deloc așa cum ni l-am imaginat până acum. De exemplu, ar putea avea forma unui ou sau o formă îndoită asupra sa însăși din punct de vedere topologic, ca o coroană de hârtie.

Chiar și atunci când Universul observabil va fi aproape perfect definit, încă va mai rămâne o mare întrebare fără răspuns: De ce? Nu „De ce există ceva?” – o enigmă prea îndepărtată de știință – ci „De ce este Universul atât de uluitor de potrivit pentru existența noastră?”

● Principiul antropic

„Dacă privim cu atenție Universul și identificăm numeroasele accidente din fizică și astronomie care s-au dovedit a fi înspre binele nostru, ajungem la concluzia că Universul, într-un anume fel, trebuie să fi știut că urma să venim.” Când Freeman Dyson de la Princeton a scris acest lucru în 1971, oamenii de știință dezbătuseră deja de câteva decenii așa-zisele „accidente”. Mici modificări ale

legilor fizicii, în special ale rapoartelor ordinelor de mărime dintre forța gravitațională, forța electrică și forțele nucleare, ar fi redus considerabil timpul de viață al Universului sau l-ar fi făcut nefavorabil formării Pământului și apariției vieții umane.

Nu vom discuta aici detaliile geologice și biologice. Cum se face că planeta noastră a păstrat apă în stare lichidă timp de peste 4 miliarde de ani, iar geochimia ei, modulată de impacturile cu comete și asteroizi, a facilitat apariția animalelor adaptabile vieții pe uscat – acestea sunt improbabilități locale care trebuie să îi frământa pe biologi și pe specialiștii în științe planetare. Preocupările cosmologilor sunt mai profunde. Dacă fizica nu ar fi fost atât de bine adaptată, Universului i-ar fi fost foarte greu să producă atomi de oxigen și de carbon, și cu atât mai mult ființe bipede inteligente.

Brandon Carter, un teoretician de la Cambridge, a adus problema în discuție în 1973 la un congres de astronomie de la Sydney. El a propus principiul antropic, a cărui esență, în forma sa slabă, este extrem de evidentă. Dacă Universul nu ar fi fost așa, noi nu am fi aici pentru a-l cerceta. Un alt Univers cu caracteristici diferite nu ar avea astronomi. „Ceea ce ne putem aștepta să observăm este restricționat de condițiile necesare prezenței noastre ca observatori”, a spus Carter.

Pe lângă principiul antropic în forma slabă, după cum l-a denumit el, acesta s-a întrebat dacă posibilitatea existenței vieții ar putea fi o condiție preliminară pentru orice Univers, alături de spațiu-timp, de particule și așa mai departe. Carter a exprimat această idee în forma tare a principiului antropic: „Universul trebuie să fie astfel alcătuit încât să permită crearea observatorilor din interiorul lui la un anumit stadiu de dezvoltare.”

Această propoziție a sunat pentru mulți cercetători ca și cum i-ai spune lui Dumnezeu ce și cum să facă. Astfel, deși a fost discutat mult într-o manieră religioasă sau cvasi-religioasă, principiul antropic tare nu s-a prea potrivit cu știința. Prin urmare, cei mai mulți cosmologi l-au făcut uitat.

Principiul antropic slab era mult mai ușor de aplicat. Dacă am avea vreun motiv să presupunem că Universul nostru este și va fi unicul Univers, nu ar exista nicio diferență între principiul antropic puternic și cel slab. Însă tot ar fi necesară o fixare inteligentă a numerelor, făcută fie de către un proiectant, fie de către niște legi ale biofizicii încă nedescoperite.

Dar dacă există mai multe universuri, problema nu mai e atât de acută, tot astfel cum existența a miliarde de planete răspândite prin galaxia noastră ne-ar da speranța că pe una sau două dintre ele ar putea apărea forme de viață inteligente. Printre miliardele de universuri care au diferite caracteristici fizice s-ar putea găsi unul sau două care să conțină viață.

O modalitate de a forma noi universuri ar fi aceea de a le recicla pe cele vechi. O corespondență de lungă durată a teoriei Big Bang-ului a fost ideea că Universul nostru s-ar putea opri din expansiune și, în final, ar colapsa într-o uriașă

implozie, numită Big Crunch. Apoi s-ar putea materializa un nou Big Bang, ca pasărea Phoenix din propria-i cenușă. Această posibilitate a fost eliminată datorită descoperirilor de la sfârșitul secolului al 20-lea, care arată că Universul nostru este programat să se expandeze la infinit.

Dovada că expansiunea chiar se accelerează a generat o idee diferită despre reînnoirea Universului. Andreas Albrecht de la UC Davis și João Magueijo de la Imperial College din Londra au presupus că în momentele de început ale Universului lumina se propaga mult mai rapid ca acum, până când s-a acumulat energia neagră care a încetinit-o. Aceasta a făcut ca energia neagră să fie mai masivă decât îi permitea viteza luminii. Aceasta a descărcat surplusul, care a devenit energia și materia reală a Universului.

„Totul s-ar putea repeta”, a explicat Magueijo. „Când expansiunea răspândește galaxiile prezente la distanțe foarte mari, viteza luminii va crește măbind din nou cantitatea de energie neagră, iar apoi va scădea dintr-o dată, creând un alt univers. Aceasta s-ar putea întâmpla mereu, într-o serie de big bang-uri.”

Alte ipoteze prevedeau apariția universurilor multiple nu în serie, ci simultan. Dincolo de norul de microunde, fenomenele big bang ar putea fi evenimente frecvent repetabile într-un cosmos infinit și în esență neschimbător. Astfel se străduia Fred Hoyle să repare teoria stării staționare, înainte de moartea sa care a survenit în 2002. În viziunea sa, Universul arată proaspăt, compact și exploziv numai din cauza provincialismului nostru.

O idee care pare asemănătoare, deși tehnic este complet diferită, este ipoteza astrofizicianului rus Andrei Linde, care susține că printre noi se nasc în permanență noi universuri. Nu suntem conștienți de noile apariții, chiar dacă uneori acestea cresc la fel de mari ca propriul nostru Univers. Se presupune că acestea se desprind în alte dimensiuni ale spațiului, separate de a noastră. Aceste variate universuri noi ar putea încerca multe variante ale legilor fizicii.

● Cosmosul ospitalier

Pentru Martin Rees de la Cambridge armonizarea cu totul specială a acelor legi în cadrul cosmosului nostru merita un nume special. El l-a numit Universul biofil, adică ospitalier pentru formele de viață. În calitate de remarcabil teoretician al stelelor și al quasarilor, Rees era adesea invitat pentru a evalua progresele cosmologiei. El s-a declarat agnostic în privința competiției teoriilor actuale, dar se aștepta la o explicație a Universului biofil. Varianta universurilor multiple i se părea cea mai acceptabilă.

„N-ar putea răsări și alte big bang-uri, în toate aceste universuri guvernate de legi diferite?”, s-a întrebat Rees într-un discurs din 2002. „Aceasta este o întrebare-cheie pentru știința secolului al 21-lea. Dacă răspunsul este pozitiv, nu trebuie să ne surprindă evidenta armonizare a legilor cosmice. Pentru a avea certitudini, trebuie să așteptăm apariția unei teorii fundamentale reușite care să ne spună dacă

variantele unor multiple big bang-uri este preferabilă unui singur astfel de eveniment, și în caz că da, să ne arate dacă acestea sunt destul de diferite astfel încât așa-numitele legi ale naturii să fie doar legi locale, provinciale, valabile pentru colțul nostru de Univers.

Să remarcăm ecoul pe care l-a avut remarcă lui Philip Morrison despre provincialism, făcută cu trei decenii în urmă. Însă Rees a avut o viziune pozitivă asupra Universului ospitalier produs de propriul nostru Big Bang. În cadrul Universului nostru, credea el, oamenii de știință ar trebui să poată integra în cosmologie nu doar astronomia, fizica și chimia, așa cum deja au făcut-o, ci și biologia. Căutătorii formelor de viață din alte universuri vor putea estima cât de ospitalier s-a dovedit a fi Universul pentru acestea, până acum. Dacă viața nu este deja răspândită pe scară largă atunci, după opinia lui Rees, descendenții noștri ar putea considera că e de datoria lor să facă aceasta.

Aceste viziuni, cea antropică și cea biofilă, pot fi privite ca o întoarcere la Universul din vremea lui Dante, când acesta avea în centru Pământul și umanitatea. Cosmosul este așa de mare pentru că expansiunea sa până acum reprezintă măsura exactă a eonilor care s-au scurs de la Big Bang până să apărem noi și să-l studiem. Galaxiile, stelele, norii de praf interstelar și cometele sunt dovezi ale ordinii cosmice necesare pentru a se acumula materia din care s-a format planeta noastră și din care suntem formați și noi.

Astfel, Pământul își redobândește poziția centrală, nu din punct de vedere navigațional, ci genetic. Interacțiunile zilnice dintre Pământ (geos, în limba greacă) și cosmos, care în perioada medievală erau mediate de îngeri și interpretate de astrologi, continuă cu efectele mareelor lunare, ale furtunilor solare, ale oscilațiilor Pământului induse de alte planete și ale influxului neîncetat de meteoriți și de radiație cosmică. Ființele umane s-au dovedit a fi părți integrante ale Universului, la fel ca și radiația solară, cometa Halley sau nebuloasa Horsehead. Este timpul să ne simțim din nou acasă printre stele.

- *Capitolul BIG BANG descrie mult mai detaliat elegantul scenariu inflaționist și consecințele acestuia, precum și teoria lui Linde despre universurile multiple. GRAVITAȚIA și SUPERCORZILE aprofundează teoriile fundamentale. ENERGIA NEAGRĂ tratează descoperirea fenomenului de accelerare a expansiunii Universului. FONDUL DE MICROUNDURI exprimă speranțele în ceea ce ne-ar putea revela acest înveliș. Indicii ale unor posibile modalități de penetrare a bancului de ceață, pentru a avea o viziune mai directă asupra momentului Big Bang-ului, apar în UNDELE GRAVITAȚIONALE și în RADIAȚIA COSMICĂ. Componentele materiale ale Universului sunt analizate în MATERIA NEAGRĂ, GĂURILE NEGRE, GALAXII și STELE. Capitole introductive în noua biocosmologie sunt ELEMENTELE CHIMICE, MOLECULELE ÎN SPAȚIU, VIAȚA EXTRATERESTĂ, PĂMÂNTUL, ORIGINEA VIEȚII și ASTRONAUTICA.*



Binecuvântarea lăptăresei și blestemul generalului

LA BOGAZKÖY, ÎN TURCIA, pot fi văzute încă fortificațiile din Epoca Bronzului de la Hattusas, capitala imperiului hitit. Suppiluliumas I, care a domnit acolo timp de 40 de ani în secolul al 14-lea î.Hr., a reconstruit orașul. El a avut parte de un final nefericit, după ce văduva faraonului Tutankhamon al Egiptului i-a propus unuia dintre fiii lui să se căsătorească cu ea și, astfel, să devină faraon.

Oponenții din Egipt au considerat că n-ar fi deloc o idee bună și l-au asasinat pe prințul hitit. Conflictul care a urmat a adus prizonieri de război egipteni în Anatolia. Aceștia erau purtători ai variolei, o veche endemie în țara lor de baștină. Rezultatul a fost o epidemie a cărei primă victimă înregistrată în istorie a fost însuși Suppiluliumas I. El a murit în anul 1350 î.Hr.

Ultima persoană care a murit de variolă a fost Janet Parker din Birmingham, Anglia, în 1978. Ea realiza fotografii medicale și a fost accidental expusă la virusul variolei ce fusese păstrat în scopuri științifice. În anul precedent, la Merka, în Somalia, un bucătar, Ali Maow Maalin, fusese ultimul care se molipsise de variolă în urma unui contact uman, însă supraviețuise. În 1980, Organizația Mondială a Sănătății, cu sediul la Geneva, a declarat oficial că variola a fost eradicată, ca urmare a unui program ce a durat 15 ani și în care vaccinatorii au vizitat până și cel din urmă cătun și trib nomad. Aceasta a fost, după cum se poate demonstra, cea mai mare dintre realizările practice ale științei înregistrată vreodată.

Epidemii ale altor boli au făcut uneori multe victime omenești, incluzând ciuma bubonică ce a adus Moartea Neagră în Eurasia secolului al 14-lea. Dintre toate, epidemia de variolă era cea mai rea. Rata mortalității infantile se apropia de 100%, iar supraviețuitorii erau de obicei desfigurați de cicatricele pustulelor variolice și deseori orbeau. Istoricul Thomas Macaulay scria despre variolă că „transformă pruncul într-o arătare la vederea căreia orice mamă se înfioară, și face ca ochii și obrajii logodnicei să devină o oroare pentru cel îndrăgostit.”

În urma epidemiilor, locuitorii din Eurasia și din Africa au dobândit în mod natural imunitate crescută. Dar când conchistadorii și marinarii europeni au dus variola și alte boli în regiuni care nu fuseseră, până atunci, expuse acestora, din cele două

Americi și din Oceania, ei au contribuit accidental la dispariția majorității populației băștinașe. Una dintre victime a fost împăratul aztec Ciutláhuac în anul 1520.

Epidemiile nu au fost întotdeauna accidentale. „Efectul devastator al variolei a dat naștere unuia dintre primele exemple de război biologic”, au observat specialiștii în istoria medicinei, Nicolau Barquet și Pere Domingo de la Barcelona. În 1763, generalul Jeffrey Amherst, comandantul armatei britanice din America de Nord, a aprobat propunerea colonelului Henry Bouquet de a sfărâma crustele pustulelor de vărsat în păduri ce urmau să fie distribuite printre triburile ostile de indieni. „Ar fi bine să încerci să inoculezi indienii prin intermediul pădurilor”, scria Amherst, „precum și prin orice altă metodă care ar duce la stărpirea acestei rase execrabile.”

Pe atunci, mulți copii din Eurasia erau în mod deliberat infectați cu variolă într-o formă foarte blândă, știut fiind că majoritatea vor supraviețui rămânând doar cu vagi cicatrice și dobândind imunitate. Obiceiul de a pune puroi dintr-o pustulă de vărsat pe pielea unui copil și de a face o mică incizie s-ar putea să fi apărut printre femeile cercheze care își trimiteau multe dintre fiicele lor în haremurile turcești. Soția ambasadorului britanic la Istanbul a introdus acest obicei la Londra, în anul 1721. Această practică ucidea unul din 50 de copii astfel tratați, și putea fi ea însăși o sursă de contagiune pentru ceilalți.

● „O idee nesăbuită”

Femeile cercheze nu erau singurele renumite pentru frumusețea lor – ceea ce, în vremurile acelea, însemna că nu aveau cicatrice postvariolice. Prin toate satele Europei era binecunoscut faptul că lăptăresele supraviețuiau adesea variolei. Folclorul englez pune înfățișarea lor plăcută pe seama contactului lor cu roua dimineții, atunci când mergeau să mulgă vacile. Vorba cântecului:

*O, unde mergi frumoasa mea fecioară,
Cu-obrajii roșii și coama negrișoară?
Mă duc la muls, stăpâne, ea răspunde
Mă caută dacă vrei, căci roua mă ascunde.*

Lăptăresele însele aveau o fină intuiție, iar una dintre ele chiar l-a asigurat pe un doctor din Bristol că nu se va îmbolnăvi niciodată de variolă pentru că a avut deja variola vacilor. Aceasta era o boală ușoară care provoca plăgi pe mâinile celor care aveau de-a face cu vitele. Edward Jenner, ucenicul doctorului, a auzit această replică și a ținut-o minte.

Trei decenii mai târziu, când avea propriul cabinet în Berkeley, Gloucestershire, Jenner a studiat această chestiune sub pretextul investigării bolilor transmise de la animale la oameni. În cele din urmă, a realizat câte o incizie atât pe el însuși, cât și pe pacienții săi pentru a vedea dacă inocularea cu vaccină non-virulentă asigură protecție împotriva variolei. În 1796, în cadrul unui experiment care

astăzi ar fi numit eroic, a se citi îndoielnic, Jenner a introdus substanță dintr-o plagă de pe mâna unei lăptărese în brațul unui băiețel sănătos în vârstă de opt ani, James Phipps. Șase săptămâni mai târziu, a încercat din răspuț să-l infecteze pe băiat cu variolă. Din fericire pentru micuțul James și pentru noi, inocularea a dat roade, așa cum s-a întâmplat și în cazul experiențelor ulterioare.

„Această boală dă organismului o stare de siguranță perfectă în fața variolei”, a anunțat Jenner. În urma unei recenzii realizate de colegii de breaslă, Societatea Regală din Londra a refuzat să-i publice manuscrisul. Și a adăugat în mod gratuit avertismentul: „Dacă ține la reputația sa, ar face bine să nu răspândească o astfel de idee nesăbuită.”

Când Jenner a publicat o monografie pe cheltuiala sa, clericii s-au alăturat medicilor pentru a-l acuza. Cu toate astea, tratamentul funcționa cu adevărat, și se recomanda singur unora ca împăratul Franței, împăratul Spaniei și președintele Statelor Unite. În 1807, parlamentul britanic recunoscător l-a premiat pe Jenner cu 30 000 de lire sterline, echivalentul actual al unui milion de lire sterline. Și în mai puțin de 200 de ani, variola vacilor a dus la eradicarea completă a variolei umane.

● O armă biologică

Sau nu? Alături de binecuvântarea lăptăresei a rămas și blestemul generalului Amherst. Nimic nu arată mai elocvent decât variola cum reușește știința să amplifice și să dramatizeze problemele politice și morale.

Campania împotriva variolei a scos la iveală ce era mai bun din oameni. Thomas Jefferson s-a asigurat personal că vaccinarea lui Jenner a fost prezentată nativilor americani. Iar în cazul ultimei mari epidemii care a izbucnit în timpul Războiului Rece, umanitatea a fost mai unită ca niciodată până atunci sub stindardul campaniei de eradicare a variolei până și din cele mai sărace și mai îndepărtate colțuri ale lumii – indiferent de cost.

Cu toate acestea, variola a scos la iveală și tot ce era mai rău în guvernele și în oamenii de știință aserviți acestora. Ceea ce părea la prima vedere o ceartă între savanții din cadrul Organizației Mondiale a Sănătății, în privința a ceea ce ar trebui făcut cu stocurile de virus variolic din laboratoare după confirmarea oficială din anul 1980 a eradicării bolii, ascundea de fapt ceva mult mai îngrijorător. Noile generații urmau să se dezvolte fără a avea imunitate la variolă, la fel ca aztecii din vechime. Ele vor fi ținte sigure pentru variola folosită ca armă militară sau teroristă.

Stocurile de virus variolic aprobate internațional au fost reduse, rămânând cele de la Centrul de Prevenire și Control al Bolilor din Atlanta și de la Institutul Ivanovsky de Virusologie din Moscova. Argumentul pentru distrugerea și a acestor stocuri era că, atâta timp cât existau, puteau scăpa de sub control, cauzând astfel o epidemie. Un motiv minor ca să fie păstrate era că ar putea fi necesare în

cercetările medicale viitoare. Principala obiecție împotriva distrugerii lor era că nimeni nu putea să garanteze că rezervele din Atlanta și Moscova erau singurele rămase. Distrugerea virusului variolic a fost amânată în mod constant, neexistând un consens în comitetul executiv multinațional al Organizației Mondiale a Sănătății referitor la acest aspect.

Teama de variola folosită ca armă biologică nu era o exagerare paranoidă. Acest lucru a devenit evident o dată cu colapsul Uniunii Sovietice. Ken Alibek (Kanatjan Alibekov), fost director adjunct al unui program sovietic de înarmare, numit Biopreparat, a cerut azil Statelor Unite, în anul 1992, prezentând o informație cutremurătoare. Una dintre responsabilitățile sale era să găsească metode să se sustragă restrângerii stabilite a stocului de virus variolic la Moscova și să eludeze Convenția referitoare la Armele Biologice și Toxice din 1972, care limita cercetările doar la măsuri defensive.

Prioritatea maximă o avea obținerea unei aprobări internaționale de a muta rezerva oficială de la Moscova la un centru de studiu al virusurilor de lângă Novosibirsk numit Vektor care era implicat, în secret, în cercetări asupra variolei ca armă biologică. Pentru a salva toate informațiile esențiale înainte de ziua în care virusul urma să fie distrus,ologii moleculari au început să realizeze o analiză completă a genelor virusului variolei și a genelor virusului vaccinei. Scopul era modificarea virusului vaccinei cu ajutorul ingineriei genetice, ce putea fi realizată sub masca cercetării vaccinului, urmărindu-se de fapt crearea unui produs virulent.

Între timp, Uniunea Sovietică cultiva produse clasice pe scară largă. „La sfârșitul anilor 1980 și începutul anilor 1990, peste 60 000 de oameni erau implicați în cercetarea, dezvoltarea și producția de arme biologice”, a declarat Alibek. „Sute de tone de antrax au fost depozitate alături de zeci de tone de variolă și ciumă.” Riscul scăpărilor accidentale era mereu prezent. Alibek a menționat cazul scăpării antraxului dintr-un dispozitiv aflat într-un complex militar din Sverdlovsk, în anul 1979. Pentru a mușamaliza incidentul, au fost distruse dosarele medicale ale victimelor și un țaran a fost arestat pentru o presupusă vânzare de carne contaminată cu antrax.

Serviciile secrete din Occident nu bănuiau aproape nimic despre programul sovietic. Spre deosebire de armele nucleare, prepararea agenților biologici nu necesită reactoare mari, detectabile din satelit. Orice fabrică de vaccinuri poate fi transformată într-o uzină de armament peste noapte. Sistemul de contaminare poate fi la fel de rudimentar ca păturile lui Amherst sau ca scrisorile folosite în 2001 la mini-atacurile cu antrax asupra guvernului SUA.

În 1992, liderul sovietic Boris Elțin a stopat oficial orice activitate legată de armele biologice. Alibek a observat că stocurile de virus variolic au fost, cu toate acestea, mutate la Vektor, în anul 1994. Lucrările apărute ulterior în literatura de specialitate despre virusuri modificate ale vaccinei i-au sugerat faptul că programul de înarmare își urma cursul.

Ținând cont de apariția terorismului internațional, variola și alte arme biologice par potrivite pentru atacuri asupra populației civile, cu scopul de a ucide cât mai mulți oameni posibil. O serie de țări au început din nou să-și facă rezerve de vaccin împotriva variolei și să vaccineze personalul-cheie. Alibek a devenit președintele Companiei Advanced Biosystems, care avea contract cu Agenția pentru Proiecte de Cercetare Avansată în Domeniul Apărării a SUA (DARPA), și nu după mult timp a participat la dezvoltarea Centrului pentru Apărarea Biologică al Universității George Mason. El a afirmat: „Este necesar să formăm o generație nouă de savanți capabilă să lucreze în cadrul serviciului de apărare biologică civilă”.

- Pentru alte utilizări ale științei în scop militar, vezi **ARMELE NUCLEARE**. Pentru mai multe date despre aspectele biomedicale, vezi **SISTEMUL IMUNITAR**.



VÂNTUL SOLAR

Cum generează acesta heliosfera în care trăim

DATAREA CU CARBON RADIOACTIV a fost marele dar pe care un specialist în chimie nucleară l-a făcut arheologilor. Willard Libby de la Chicago le-a recomandat această metodă în 1949, dându-le exemple de obiecte ale căror datări cu carbon radioactiv corespundeau cu cele obținute prin alte metode. Ideea era simplă. Obiectele vii absorb carbon-14 radioactiv din aer, dar când mor și devin lemn, cărbune sau piele, conținutul lor de carbon se diminuează treptat de-a lungul miilor de ani, pe măsură ce atomii radioactivi se dezintegrează. Dacă măsurăm ceea ce rămâne, putem estima vârstele respectivelor obiecte.

Această minunată rețetă a generat însă destul de curând unele contradicții absurde, cum ar fi datarea mumiilor unor faraoni care ar fi domnit după succesorii lor cunoscuți. Explicația acestui fenomen a fost găsită de un biofizician, Hessel de Vries, la Groningen, în 1958. Viteza de producere a carbonului radioactiv din atmosferă a variat de-a lungul secolelor și mileniilor, spunea el, datorită modificărilor intensității radiației cosmice. Aceasta este alcătuită din particule subatomice energetice care provin din galaxie, și produce carbon radioactiv în urma interacțiunii cu atomii de azot din aer.

Arheologii nemulțumiți și-au clarificat îndoielile cu ajutorul arborilor seculari, în special al pinilor bristlecone din Munții Albi, din California. Datorită eforturilor lui Edmund Schulman și ale discipolilor săi de la Arizona, s-a putut afla vârsta fiecărui inel de creștere anuală prin numărarea acestora, în cazul unei serii de mostre de lemn vechi de peste 8 000 ani. Hans Suess de la UC San Diego, specialist în chimie nucleară, a comparat această numărătoare cu datarea obținută cu ajutorul carbonului radioactiv. El a publicat, în 1967, un grafic pe care se puteau observa o serie uluitoare de oscilații, indicând modificări semnificative ale vitezei de producere a carbonului radioactiv.

Efectele calibrării datării arheologice cu ajutorul pinilor bristlecone au fost revoluționare. Mitul larg răspândit al extinderii civilizației și tehnologiilor din Sumeria și din Egipt s-a năruit atunci când datarea corectă cu carbon radioactiv a demonstrat că populația din Britania a construit monumente megalitice cu 1 500 de ani înaintea primei piramide egiptene. După cum remarca și Colin Renfrew de la Southampton, în 1973: „Întreaga schemă expansionistă s-a prăbușit, și o dată cu ea ipotezele care au stat la baza arheologiei preistorice timp de aproape un secol.”

Dar de ce variază radiația cosmică atât de mult? Variațiile gradate ale câmpului magnetic al Pământului explică fenomenul pe termen lung, dar nu și oscilațiile observate de Suess. Pentru a putea răspunde la această întrebare, era necesară o schimbare revoluționară a percepției relației dintre Pământ și Soare. Și marea surpriză a constituit-o descoperirea vântului solar.

● O scară rulantă care respinge razele cosmice

Câmpul magnetic al Pământului protejează parțial atmosfera și suprafața terestră de radiația cosmică. În zona ecuatorială, unde acesta este cel mai intens, doar particulele de radiație cosmică cele mai energetice străpung ecranul magnetic. În regiunile polare, radiația este canalizată spre atmosferă de către liniile de câmp ce converg spre polii magnetici. Prin urmare, experții în magnetism terestru de la Institutul Carnegie din Washington DC au considerat că monitorizarea globală a radiației cosmice este o sarcină din domeniul lor.

Scott Forbush a fost desemnat să se ocupe de acest proiect în cadrul căruia a organizat, în anii 1935–1936, o rețea mondială de instrumente de înregistrare, inițial în Maryland, Peru și Noua Zeelandă. „Studia radiația cosmică și călătorea prin lume”, își amintea un prieten despre Forbush. „Purta cu el o valiză de piele uzată și era mândru de zecile de bilete de avion, de bonuri de la magazine sau hoteluri, pe care le agățase de mânerul acesteia, ca un fel de fișă arheologică a călătoriilor sale.”

Lucrând zi și noapte de unul singur timp de douăzeci de ani, Forbush a făcut descoperiri uimitoare despre variațiile radiației cosmice. A determinat cicluri de 27 de zile corelate cu rotația Soarelui, și cicluri de 11 ani, în conformitate cu

ciclurile petelor solare în timpul cărora numărul petelor întunecate de pe suprafața Soarelui scade și crește. A detectat emisii puternice de particule energetice asemănătoare radiației cosmice, ce erau emanate în urma exploziilor solare. Dacă numărul petelor era mare, ceea ce indica un Soare turbulent, atunci radiația cosmică provenind din galaxie era mult redusă.

„Descresșterea Forbush” este denumirea încă în vigoare pentru aceste scăderi bruște în intensitate ale radiației cosmice, care succed erupțiilor solare majore. Ele sunt de asemenea asociate și cu furtunile magnetice de pe Pământ care derutează busolele. Această coincidență l-a condus și pe Forbush către o viziune eronată asupra evenimentelor, având drept sursă principală Pământul. El a considerat că variațiile radiației cosmice se datorează modificărilor din mediul magnetic terestru, când de fapt ambele fenomene sunt cauzate de comportamentul Soarelui.

John Simpson de la Chicago a intuit că variațiile radiației cosmice erau rezultatul efectelor magnetice care puteau fi resimțite la distanțe mult mai mari în spațiu. El a inventat un monitor neutronic pentru studiul radiației cosmice de energii relativ scăzute, ale cărei intensități variau cel mai mult, și a fondat cinci stații de cercetare, din Huancayo, în Peru, până la Chicago. Dependența vitezei de numărare de energia particulelor susținea ideea sa despre câmpurile magnetice variabile care împânzeau spațiul interplanetar.

Apoi a apărut un alt indiciu important, dintr-o direcție total diferită. Coada unei comete e îndreptată întotdeauna în direcție opusă Soarelui, indiferent de direcția pe care o urmează cometa. Explicația tradițională a acestui fapt era că lumina solară respinge coada. Deși părea valabil pentru particulele fine de praf din coada cometei, Ludwig Biermann de la Göttingen a atras atenția, în 1951, că presiunea luminii asupra atomilor și a moleculelor este mult prea slabă pentru a influența componenta gazoasă, lungă și rectilie a cozii.

Biermann a sugerat, în locul explicației tradiționale, că devierea cozilor gazoase ale cometelor s-ar putea datora particulelor provenite de la Soare. Acestea ar putea fi de același tip ca și „corpusculii solari” despre care se credea că sunt responsabili de variațiile câmpului magnetic al Pământului, după o intensificare a activității solare. În afara celor care studiau cometele, foarte puțini cercetători au acordat atenție ideii că aceste corpuri, cometele, reacționau ca niște giruete la fluxul de particule provenite de la Soare.

O excepție a fost tânărul fizician de la Chicago, Eugene Parker. El a descoperit, din dovezile furnizate de comete, că Soarele emite materie neîncetat, în toate direcțiile. Uneori poate mai slab, dar niciodată deloc. Cu alte cuvinte, există un vânt solar permanent.

Parker considera că punctul de plecare este atmosfera Soarelui, care devine vizibilă ca o corolă în timpul eclipselor solare. Deoarece aceasta este extrem de fierbinte, având o temperatură de un milion de grade Celsius sau chiar mai mult, ea ar trebui să se dilate continuu în spațiu, ajungând la viteze de sute de kilometri

pe secundă la distanțe mari față de Soare. Astfel misterioșii „corpusculi solari”, despre care s-a crezut mult timp că ar determina oscilațiile câmpului magnetic terestru, au devenit în primul rând o expansiune a atmosferei solare, ascultând de legile hidrodinamice ale mișcării fluidelor.

Vântul solar, așa cum l-a conceput Parker, impune totodată legile magnetismului în spațiul interplanetar. Acesta este alcătuit dintr-o plasmă de atomi ionizați și de electroni, având de asemenea o componentă magnetică. Traversând Sistemul Solar, acest vânt solar extinde câmpul magnetic al Soarelui până când acesta umple întregul spațiu, până undeva dincolo de cea mai îndepărtată planetă. Pe măsură ce Soarele se rotește în jurul axei sale, efectul obținut este antrenarea câmpului magnetic într-o uriașă mișcare spiralată, denumită ulterior spirala Parker. De exemplu, în vecinătatea Pământului, liniile câmpului magnetic solar pătrund dinspre vest cu o înclinație de aproximativ 45 de grade față de axa Pământ-Soare.

Extinderea exterioară a câmpurilor magnetice respinge radiația cosmică în anumite măsuri, producând variațiile intensității ei, ce au fost studiate ani la rând de către Forbush și Simpson. Simpson a comparat câmpul magnetic neregulat adus de vântul solar cu o scară rulantă ascendentă. Imaginați-vă niște mingi de tenis rostogolindu-se pe ea, pentru a reprezenta, analogic, particulele de radiație cosmică provenite din galaxie ce încearcă să ajungă în interiorul Sistemului Solar și pe Pământ. Unele dintre ele vor ricoșa înapoi în vârful scării, și nu vor ajunge niciodată la ținta lor, baza acesteia.

„Dacă mărim viteza scării, vom simula intensificarea activității solare”, a afirmat Simpson. „Acum mult mai multe mingi vor ricoșa înapoi la vârf, și mult mai puține vor ajunge la baza scării.”

● Descoperirea vântului

O altă consecință a teoriei vântului solar a fost că magnetismul terestru nu se estompa la distanță, ci era limitat de către presiunea vântului. În schimb, câmpul magnetic terestru poate acționa ca un ecran protector față de vântul solar, pe care îl ține la distanță. Prin urmare, noi trăim într-o bulă magnetică numită magnetosferă, amplasată într-o extindere imensă a atmosferei solare, numită heliosferă, care este străbătută de vântul solar.

Din această perspectivă, erupțiile solare majore trebuie privite ca simple episoade ale unei lupte fără sfârșit între vântul solar și câmpul magnetic terestru. Pe partea dinspre Soare, limita magnetosferei se află în mod normal la 60 000 de kilometri de suprafața terestră. O rafală puternică de vânt solar poate împinge ecranul protector la numai 30 000 de kilometri. Presiunea exercitată astfel asupra câmpului magnetic terestru generează o furtună magnetică detectabilă de către instrumentele aflate la sol.

Toate acestea sunt considerate acum firești, dar la vremea când Parker a adus în discuție această teorie, în 1958, cei mai mulți specialiști au luat în derâdere noua

imagine a conexiunii hidrodinamice Soare-Pământ. Ei i-au spus: „Parker, dacă ai cunoaște cât de cât acest subiect, n-ai putea gândi astfel. Se știe de zeci de ani că spațiul interplanetar este caracterizat de condiții de vid înalt, străpuns intermitent de fascicule de particule energetice emise de către Soare.”

Era spațială abia începuse, iar Parker a fost reabilitat în curând. Specialistul rus în științe spațiale Konstantin Gringauz a observat primele indicii ale vântului solar cu ajutorul instrumentelor de pe Lunik-2 și Lunik-3, sonde spațiale lansate în 1959 pentru a studia Luna. În 1962 teoria lui Parker a fost confirmată de către satelitul Explorer-12 al NASA, care a reușit să localizeze limita magnetosferei terestre, și de către satelitul Mariner 2, care a învins vântul solar interplanetar în drumul său către planeta Venus.

Acesta a devenit subiectul preferat al fizicienilor specialiști în științele spațiale. Instrumentele relativ simple puteau detecta electronii și atomii ionizați din vântul solar, și puteau măsura câmpul magnetic. Numeroși sateliți, special programați pentru acest scop, au explorat magnetosfera terestră și vântul solar care o înconjură. În timpul lungilor zboruri spațiale se descoperiseră întotdeauna lucruri noi: de exemplu, s-a dovedit că și planeta Jupiter are o magnetosferă proprie, imensă și foarte activă.

Operând în apropierea Soarelui, sateliții germano-americani Helios-1 și Helios-2 au detectat, între anii 1974 și 1984, multe dintre fenomenele de bază ale particulelor și ale câmpului magnetic din vântul solar. Alte nave spațiale ce au sondat cometa Halley în 1986 au observat interacțiunea componentelor ei gazoase cu vântul solar, după cum prezisese Biermann cu 35 de ani mai devreme.

Vântul solar s-a dovedit a avea două viteze diferite. În apropierea Pământului acesta atinge viteze de 350–400 de kilometri pe secundă, însă uneori rafale de vânt cu viteze de 750 de kilometri pe secundă izbesc magnetosfera. Acestea provin din regiuni numite găuri coronale, care apar întunecate pe imaginile atmosferei solare obținute cu ajutorul razelor X. Găurile coronale se reduc la regiunile polare atunci când activitatea solară este scăzută. Pe măsură ce activitatea crește, găurile coronale se pot răspândi până în zona ecuatorului solar, de unde provine vântul solar care afectează Pământul.

Ciocnirile dintre curenții de aer lenți și cei rapizi produc unde de șoc în heliosferă. Alte șocuri se datorează rafalelor de vânt provenite în urma unor expulzări de mase gazoase din Soare, care se îndepărtează de Soare cu 500–1 000 de kilometri pe secundă în anumite direcții și se împrăstie pe măsură ce se îndepărtează. Câmpurile magnetice intense asociate cu șocurile ajută la crearea unei curse cu obstacole pentru radiația cosmică ce pătrunde în Sistemul Solar.

Ideile lui Parker au fost confirmate în 1995 de imaginile obținute de către doi sateliți aflați la mare distanță unul de celălalt, care au detectat o explozie solară de electroni cu energii înalte. Imaginea tridimensională a emisiilor radio a evidențiat devierea electronilor pe o traiectorie curbă. În timp ce câmpul magnetic se

supune influenței particulelor cu energie scăzută prezente în vântul solar ce pornește direct din Soare, particulele cu energii înalte provenind din exploziile solare sunt constrânse să urmeze câmpul magnetic curbat conform spiralei lui Parker.

● Explorarea heliosferei

În *Divina Comedie* a lui Dante, navigatorul Ulise își sfătuiește echipajul: „Nu pierdeți ocazia de a cunoaște lumea nepopulată din partea îndepărtată a Soarelui.” De aceea numele de Ulise a fost împrumutat navei spațiale construite în Europa în vederea explorării vântului solar, nu doar la mare depărtare de Pământ, ci chiar și dincolo de planul în care planetele principale și toți ceilalți sateliți orbitează în zona ecuatorială solară. Scopul era obținerea unei imagini tridimensionale a fenomenelor din heliosferă, această bulă spațială purtată de vântul solar.

„Cum ai putea să înțelegi clima de pe Pământ dacă ai trăi la Ecuator și nu ai avea posibilitatea să cunoști clima de la alte latitudini?”, se întreba Richard Marsden, cercetător în cadrul Agenției Spațiale Europene. „Același lucru e valabil și în cazul Soarelui. Și totuși, astronomii și specialiștii în științe spațiale au trebuit să se descurce cu o perspectivă ecuatorială a Soarelui, până la apariția lui Ulise.”

Lansat de o navetă spațială a NASA în 1990, ca un proiect comun al unor echipe din SUA și din Europa ce au perfecționat o serie de instrumente, Ulise a orbitat planeta Jupiter în 1992. Gravitația giganticei planete a redirectionat naveta pe o orbită nouă, ce a purtat-o deasupra polilor solari în perioada 1994–1995 și din nou în 2000–2001.

Simpson din Chicago a fost „eminența cenușie” a cercetătorilor implicați în proiectul Ulise și s-a ocupat în special de detectorii de radiație cosmică ai navei. El propusese o astfel de misiune solar-polară încă din 1959. Pe lângă curiozitatea generală în privința condițiilor încă netestate de la latitudinile solare înalte, Simpson mai era interesat și de posibilitatea ca radiația cosmică să circule liberă de-a lungul liniilor de câmp magnetic drepte, deasupra polilor Soarelui.

Prima survolare a polului sud solar, în septembrie 1994, a dovedit că vântul solar omogenizează câmpul magnetic solar, anulând concentrația de linii de câmp magnetic prevăzută pentru zona polilor. André Balogh de la Imperial College din Londra, responsabil cu senzorii magnetici de pe Ulise, a exprimat uimirea întregii echipe declarând că: „Am mers la polul sud magnetic al Soarelui, dar acesta nu era acolo...”.

Creșterea perceptibilă a radiației cosmice s-a dovedit a fi redusă. Undele magnetice și undele de șoc din regiunile polare respingeau cea mai mare parte a radiației, la fel de eficient ca și la ecuatorul solar. Speranța de a observa radiația cosmică fără a fi influențată de vreun factor nu s-a împlinit, însă proiectul Ulise a reprezentat un mare succes în multe alte privințe.

O descoperire majoră a constituit-o faptul că spațiul din jurul Soarelui este străbătut de vântul solar puternic din găurile coronale cu o viteză de 750 de

kilometri pe secundă. Extinderea acestui vânt rapid are efectul de a omogeniza câmpul magnetic în toate direcțiile. Bazându-se pe acest rezultat obținut de Ulise, Mike Lockwood de la Laboratorul Rutherford Appleton din Marea Britanie a folosit măsurătorile furtunilor magnetice la suprafața Pământului pentru a deduce că intensitatea câmpului magnetic solar interplanetar s-a dublat în decursul secolului al 20-lea.

În 1995 a fost lansat în spațiu un nou proiect spațial solar americano-european, SOHO, una dintre misiunile sale fiind depistarea surselor vântului solar din atmosfera Soarelui. În regiunile relativ reci de unde provine vântul solar rapid, SOHO a detectat curenți ce se scurgeau pe lângă colțurile câmpurilor magnetice în formă de fagure care delimitează bule pe suprafața vizibilă. De asemenea, a pus în evidență gaze spiralându-se spre exterior sub forma unor puternice tornade la poli. La distanțe mai mari de suprafața vizibilă, SOHO a detectat atomi de gaz ionizați accelerați în spațiu de către undele magnetice.

Vântul solar mai lent, specific în apropierea Pământului, se răspândește de-a lungul muchiilor unor regiuni luminoase ascuțite numite coifuri. În timpul eclipselor solare, când activitatea Soarelui este scăzută, coifurile se pot vedea la ecuator, dar în timpul perioadelor de activitate pronunțată a petelor, ele apar la diferite latitudini. Mici evacuări de particule, observate zilnic de SOHO, contribuie de asemenea la vântul solar lent și, din nou, undele magnetice par a continua să accelereze fluxul de curenți lenți la distanțe mari în spațiu.

Ca și Soarele, vântul solar este alcătuit în principal din atomi de heliu și de hidrogen depozitați de electronii lor, dar totuși însoțiți de un număr corespunzător de electroni liberi care mențin gazul neutru din punct de vedere electric. Alte elemente chimice prezente în compoziția Soarelui apar și în vântul solar, ca dovadă faptul că un detector de pe SOHO a identificat un număr mare de diferite mase atomice, până la nichel-62. Proporțiile diversilor constituenți diferă în curenții rapizi față de cei lenți și furnizează indicii despre modul în care vântul solar se încălzește și se accelerează.

● Briza stelelor

Ulise, SOHO și alți sateliți au detectat numeroase particule cu energii înalte, alcătuind așa-numita radiație cosmică anormală, accelerate spre interior de către unde de șoc îndepărtate, de la frontiera imperiului solar. Așa cum câmpul magnetic terestru este limitat de către vântul solar, tot astfel vântul solar și magnetismul asociat se opresc în fața barierei reprezentate de gazul rarefiat ce umple spațiul interstelar. În prezent, această graniță este foarte îndepărtată.

Navetele spațiale Pioneer și Voyager ale NASA au călătorit mulți ani dincolo de cele mai îndepărtate planete, fără a depăși heliosfera. Totuși, exact ca marinarii care aud zgomotele valurilor iscate de furtună spărgându-se de țărmurile îndepărtate, sondele spațiale au detectat de două ori un zgomot de fond, ce a durat apro-

ximativ un an, provenind de la frontiera spațiului interstelar. Emisiile radio erau provocate de undele de șoc ale unei explozii solare foarte puternice.

După puternicele furtuni solare din iulie 1982 și iunie 1991, suflul exploziilor a împins navetele cu o viteză de aproximativ 800 de kilometri pe secundă. Din momentul în care undele de șoc ale exploziei au părăsit Soarele, au trecut mai mult de 13 luni până la începerea emisiilor radio, ceea ce plasează frontiera heliosferei undeva la o distanță de 110–160 de ori mai mare decât distanța Soare-Pământ. Poate că navetele Voyager vor ajunge acolo și vor pătrunde în spațiul interstelar, înainte ca rezervele lor de energie radioactivă să se epuizeze, în 2020, la o distanță de 130 de ori mai mare decât cea dintre Soare și Pământ.

O briză în gazul interstelar extern conturează heliosfera. Atomii acestui gaz ce umple sistemul solar devin fluorescenți în lumina ultravioletă a Soarelui. Un instrument franco-finlandez de pe SOHO, numit SWAN, a fost proiectat pentru a vizualiza luminescența emisă de atomii de hidrogen, și a stabilit astfel traiectoria și viteza gazului, în pofida confuziilor cauzate de gravitație.

„Vântul solar distruge atomii de hidrogen interstelar din apropierea Soarelui”, a explicat Jean-Loup Bertaux de la Serviciul francez de Aeronomie, conducător al echipei SWAN. „În partea inferioară a curentului se pot observa supraviețuitori îndepărtați, a căror viteză e mai puțin afectată de către gravitația solară.”

În consecință, hidrogenul din briza interstelară vine din direcția constelației Ophiuchus cu o viteză de 21 de kilometri pe secundă. Însă heliul interstelar care îl însoțește circulă mai repede prin sistemul solar, cu 26 de kilometri pe secundă, conform măsurătorilor făcute cu un instrument german, GAS, aflat pe Ulise. În mod evident, heliul este mai puțin frânat decât hidrogenul la întâlnirea cu frontiera heliosferei.

În momentul de față, heliosfera este probabil neobișnuit de mare. O cauză temporară poate fi creșterea intensității vântului solar pe parcursul secolului al 20-lea. Pe o scală temporală mai mare, Soarele și Sistemul Solar trec în prezent printr-o regiune relativ rarefiată a spațiului interstelar, cu o densitate de numai 100 de atomi pe litru. Densități mult mai mari ale gazelor sunt specifice unor zone foarte apropiate din galaxie, iar când Soarele le întâlnește, briza interstelară devine un vânt puternic ce ar putea comprima cu ușurință heliosfera la jumătate sau chiar la o zecime din dimensiunea sa actuală.

Acest lucru trebuie să se fi petrecut în trecut. Unii cercetători au considerat creșterile masive ale intensității radiației cosmice de acum 60 000 și 33 000 de ani drept simptome ale unor întâlniri cu mici nori de gaz interstelar, cu efecte destul de drastice asupra climei terestre. Dimensiunea heliosferei și variațiile sale constituie, prin urmare, noi provocări pentru astronomii și specialiștii în științe spațiale din secolul al 21-lea. S-a vorbit chiar și despre trimiterea unor sonde spațiale spre Soare, pe traiectoria urmată de acesta printre stele, pentru a descoperi eventuali nori de gaz pregătiți de ambuscadă.

„Traectoria Soarelui sugerează că, probabil, nu va întâlni un nor mare și dens timp de cel puțin câteva milioane de ani de acum încolo”, a comentat Priscilla Frisch de la Chicago. „Consecințele unei astfel de întâlniri asupra climatului terestru sunt neclare; totuși, ne întrebăm dacă este o pură coincidență faptul că *Homo sapiens* a apărut în timp ce Soarele traversa o regiune spațială aproape lipsită de materie interstelară.”

Înțelegerea faptului că trăim într-o bulă, magnetosfera, care se află în interiorul altei bule, heliosfera, și care la rândul ei se găsește într-o altă bulă relativ vidă de gaz interstelar schimbă complet percepția omenirii asupra relației sale cu Soarele și cu Universul mult mai vast. Conceptul de vânt solar s-a extins deja în astronomia uzuală. Vânturile stelare intense sunt recunoscute ca factori importanți ce influențează apariția, maturizarea și moartea stelelor. Pe de altă parte, mulți specialiști în climatologie ar trebui să nu mai considere Soarele doar o lumină îndepărtată de pe cer.

La bine și la rău, emanațiile sale ne înconjoară. Iar teoria vântului solar a lui Eugene Parker, respinsă de experți cu doar 50 de ani în urmă, s-a dovedit a fi mult mai mult decât descrierea unui fenomen curios din spațiul interplanetar. Este una dintre marile punți de legătură ale științelor interdisciplinare moderne, de la astronomie și fizica plasmei până la meteorologie și arheologie.

- *Pentru mai multe detalii despre efectele terestre ale furtunosului vânt solar, vezi **VREMEA SPAȚIALĂ**. Pentru posibile legături între vântul solar și climă, vezi **LUMINA PĂMÂNTULUI** și **SCHIMBĂRILE CLIMATICE**. Ideea că vântul solar poate fi un mijloc de propulsie apare în **ASTRONAUTICĂ**. Pentru mai multe informații despre radiația cosmică, în special cea de energie ultraînaltă, vezi **RADIAȚIA COSMICĂ**.*

VIAȚA EXTRATERESTRĂ



Suntem singuri în Calea Lactee?

MOTIVUL PENTRU CARE elvețienii au câștigat cursa descoperirii primei planete din jurul unei stele obișnuite l-a constituit faptul că planeta însăși era extrem de surprinzătoare. În anii 1990, astronomii dispuneau de instrumente suficient de precise pentru a detecta mișcările stelelor, determinate de planetele de dimensiuni mari care orbitau în jurul acestora. Micile variații ale lungimii de undă a luminii pe măsură ce o stea se apropie mai întâi de Pământ și apoi se depărtează ar putea indica prezența unei planete.

Ideea a apărut prin analogie cu Sistemul nostru Solar, în care Soarele oscilează în timp ce planetele se rotesc în jurul lui pe orbitele lor. Planeta gigantă Jupiter, gazoasă și rece, are cel mai mare efect, însă îi trebuie 12 ani până înconjoară Soarele. S-a presupus că planetele de dimensiuni mari care gravitează în jurul altor stele ar parcurge orbitele lor într-un ritm asemănător cu cel al lui Jupiter, astfel încât ar fi necesari mai mulți ani pentru a putea fi detectate. Astronomii au început să supravegheze stele asemănătoare Soarelui, cu răbdare și periodic, de la Observatorul Lick din California și de la Observatorul Haute-Provence, din Franța.

Michel Mayor și Didier Queloz de la Observatorul din Geneva, care foloseau dispozitivul francez, aveau un sistem automat care verifica rezultatele lor în câteva minute. Conceput pentru verificarea acurateții observațiilor, acesta a dezvăluit ceva neașteptat. Pe lista stelelor supravegheate se afla steaua 51 Pegasi, similară Soarelui, aflată la 40 de ani-lumină depărtare, și puțin spre vest de marele pătrat din constelația Pegasus. Astronomii elvețieni au observat că steaua oscilează normal, însă mult prea rapid. Schimbările nu erau detectate de la un an la altul, ci de la o noapte la alta.

„Prima reacție pe care o ai în acele momente este: ‘O, ceva nu e în regulă cu acest experiment’”, își amintea Queloz. „Nu te gândești deloc la planete. Observi că se mișcă și în ziua următoare, și în următoarea, și apoi este din ce în ce mai groaznic pentru că steaua se mișcă în fiecare zi. Apoi îți spui: ‘Asta este. Acest experiment are cu adevărat o mare problemă’.”

Doar după ce s-au convins că nu era vorba de nicio eroare, Mayor și Queloz au făcut publică descoperirea lor, în timpul unei conferințe de la Florența din anul

1995. Ceea ce găsiseră ei de fapt era un Jupiter fierbinte. O planetă cu aproximativ aceeași masă ca a gigantului satelit gazos al Soarelui se rotea rapid în jurul stelei-mamă în interval de patru zile. Aceasta însemna că ea orbita la o distanță mult mai mică decât planeta cea mai apropiată de Soare, micuțul Mercur, și că era încălzită de stea la cel puțin 1 000°C. Bunul simț ne-ar spune că un astfel de gigant gazos s-ar evapora din cauza căldurii, însă în mod evident a supraviețuit destul timp.

În următorii șapte ani de la descoperirea lui 51 Pegasi, numărătoarea planetelor care orbitează în jurul altor stele, sau a planetelor extrasolare cum au fost numite, a depășit numărul 100. Aproximativ 10% dintre acestea erau Jupiteri foarte fierbinți cu perioade orbitale de mai puțin de 20 de zile. Astrofizicienii nu erau deloc încântați.

Teoria lor relativ la originea Sistemului Solar afirma că Pământul și celelalte planete s-au format prin coalescența unor obiecte din ce în ce mai mari, alcătuite din gaz și praf aflat în jurul Soarelui nou-născut. Această nebuloasă solară era concentrată într-un disc aplatizat datorită gravitației, care reprezintă, de altfel, și motivul pentru care planetele mari orbitează în același plan. Procesul a fost ilustrat cu ajutorul unor imagini animate foarte elocvente realizate cu ajutorul calculatoarelor performante.

Însă teoria nu prezicea și nici măcar nu permitea formarea unor Jupiteri fierbinți. La o întrunire mondială a astronomilor din anul 2000, un important teoretician, Pawel Artymowicz de la Stockholm, a exclamat: „Când am descoperit planetele extrasolare, am pierdut înțelegerea propriului nostru Sistem Solar”.

● Planete în formare

Ajutorul pentru recuperarea acelei înțelegeri ar putea veni din observarea planetelor aflate încă în procesul formării. Începând din secolul al 17-lea, când Immanuel Kant, în Germania, și Pierre-Simon de Laplace, în Franța, au propus în mod independent ideea că un nor rotitor format din gaz și praf s-a condensat pentru a forma planetele din Sistemul Solar, s-au depus eforturi uriașe pentru perfecționarea acestei ipoteze a nebuloasei solare. Spre deosebire de scenariul rival, în care formările planetelor din Sistemul Solar erau evenimente rare determinate de o ciocnire întâmplătoare dintre două stele, acesta favoriza ideea că planetele ar trebui să fie des întâlnite, ca locuințe potențiale pentru viața extraterestră.

Discurile de praf ce au fost detectate în jurul altor stele constituie un argument în favoarea acestei ipoteze. Descoperirea primului disc a fost o adevărată surpriză. În anul 1983, când satelitul astronomic în infraroșu IRAS a detectat existența prafului în jurul stelei strălucitoare Vega, echipa olandezo-americo-britanică a crezut că s-au dereglat instrumentele. Vega era o stea adultă, în floarea vârstei, și nu ar fi trebuit să fie deloc înconjurată de praf. Poate că în acest caz procesul formării planetei fusese ratat.

Din fericire, stele mai tinere aveau discuri similare, descoperite de IRAS, de Telescopul Spațial Hubble și de Observatorul Spațial în Infraroșu. Cea din urmă

navă spațială a descoperit discuri în jurul a jumătate dintre stelele tinere pe care le-a examinat. Astronomii le-au denumit discuri protoplanetare. Încrederea în acest apelativ a crescut și mai mult, atunci când o echipă olandeză a detectat praf în jurul stelei Rho Cancri, unde vânătorii de planete din California identificaseră deja un Jupiter fierbinte.

Cu toate că discurile de praf au evidențiat ceva asemănător unei nebuloase solare primare în acțiune, imaginile erau neclare. Acestea ofereau prea puține detalii pentru a fi de ajutor celor ce se confruntau cu noua problemă a Jupiterilor fierbinți versus cei reci. Se așteaptă ca proiectul global numit Atacama Large Millimetre Array, sau ALMA, dotat cu zeci de antene radio ce urmează să fie răspândite pe o distanță de 10 kilometri de teren înalt din deșertul Atacama din Chile, în anul 2009, să ofere o mai bună înțelegere cu ajutorul undelor radio ultrascurte.

„Până în acest moment, teoreticienii dispun de foarte puține informații relativ la ce se petrece cu adevărat în timpul formării planetelor”, a afirmat Stéphane Guilloteau de la Institutul Franco-Germano-Spaniol de Radioastronomie Milimetrică. „Cu ajutorul lui ALMA vom examina stelele tinere mult mai îndeaproape decât telescopul spațial Hubble, și vom realiza imagini mai exacte ale discurilor protoplanetare. Vom aduna, de asemenea, informații noi cruciale despre chimia, despre interacțiunea dintre gaz și praf și despre scala temporală a formării planetelor”.

● Giganți reci

Și vânătorii de planete s-au simțit frustrați de Jupiterii fierbinți. Motivul real al căutării lor era visul vechi de milenii de a descoperi viață în afara planetei Pământ. Semnale transmise de creaturi inteligente ce ar trăi undeva printre stele, în încercarea de a lua legătura cu noi, ar fi putut scurtcircuita vânătoarea. Însă după 40 de ani de căutare zadarnică a mesajelor de la extraterestrii mici și verzi, astronomii s-au apucat să caute viața pe cont propriu.

Jupiterii erau doar primul pas pe calea găsirii mult mai micilor planete asemănătoare Pământului – locurile din spațiu în care ființe vii s-ar putea dezvolta în lumina unei stele mamă, lumi „nici mai rele și nici mai puțin populate decât Pământul”, după cum a afirmat Giordano Bruno în anul 1584. Filozoful napolitan a fost ars de viu ca eretic în Campo di Fiori din Roma în anul 1600. Patru secole mai târziu, se aștepta ca metodele moderne de observare să reabiliteze concepția sa științifică.

În 1992, înainte de descoperirea lui 51 Pegasi, Alex Wolszczan de la Universitatea Penn State a descoperit planete cu mase asemănătoare celei a Pământului orbitând în jurul unei stele neutronice, Pulsar B1257+12. Cum o stea neutronică este un rest încă violent al unei stele care a explodat, era puțin probabil ca aceste obiecte să fie lumi locuibile în sensul lui Bruno. Cercetătorii care examinau stelele normale nu se așteptau să detecteze chiar de la început planete

mici. Însă dacă sesizau prezența Jupiterilor străini la distanța potrivită de stelele lor mamă, se puteau orienta către acele stele pentru a le examina îndeaproape cu ajutorul unor tehnici mult mai puternice.

Jupiterii fierbinți au relevat sisteme planetare complet diferite de Sistemul nostru Solar, ce erau nefavorabile planetelor mici. Planeta Jupiter orbitează în jurul Soarelui la o distanță de 5 ori mai mare decât distanța dintre Pământ și Soare. Astfel lasă loc pentru patru planete solide, dintre care Pământul și Marte orbitează într-o zonă cu condiții prielnice vieții, nici prea fierbinte, nici prea rece. Termenul tehnic pentru o astfel de regiune potențial locuibilă este zona Goldilocks.

Numai dacă s-ar găsi Jupiteri reci, ce ar parcurge orbitele lor în aproximativ 12 ani, ar exista mai multe șanse de a găsi planete precum Pământul. Fie și numai localizarea unuia ar necesita mai mulți ani de observare a aceleiași stele. Vânătorii principali de planete din Statele Unite, Geoffrey Marcy de la UC Berkeley și Paul Butler de la Institutul Carnegie din Washington, au coordonat un proiect de observare pe termen lung a 1 200 de stele, cu ajutorul telescopului Lick cu un diametru de 3 metri din California, al telescopului Keck cu un diametru de 10 metri din Hawai și al telescopului Anglo-Australian cu un diametru de 3,9 metri din New South Wales.

În 2002, după 15 ani de observare cu ajutorul telescopului Lick, ei au descoperit primul Jupiter aflat la distanța potrivită de o stea asemănătoare Soarelui din constelația Racului, numită 55 Cancri. Se știa deja că avea și un Jupiter fierbinte, însă calculele optimiste sugerau că o planetă asemănătoare Pământului ar putea supraviețui între cele două. „Nu am descoperit încă un Sistem Solar analog”, a spus Butler. „Însă aceasta arată că ne apropiem tot mai mult”.

Aproape în același timp, astronomii din Geneva au raportat descoperirea unui Jupiter rece, care orbita în jurul stelei Gliese 777A, din constelația Lebedei, la fiecare 7 ani. Acest fapt însemna că planeta se situa la 70% din distanța dintre Jupiter și Soare. „Are o orbită circulară, nu una eliptică”, a afirmat Queloz. „Acest fapt ne amintește în mod clar de propriul nostru Sistem Solar”.

Câteva numere indică progresul în detectarea planetelor, prin oscilația stelelor lor mamă. 51 Pegasi, primul Jupiter fierbinte descoperit, deplasează steaua cu 59 de metri pe secundă. Viteza mișcării de oscilație scade la 17 metri pe secundă în cazul Jupiterului rece al stelei Gliese 777A. În 2003, un nou instrument elvețian atașat unui telescop european uriaș din La Silla, în Chile, a reușit să înregistreze o mișcare de oscilație de numai 25 de centimetri pe secundă. O asemenea îmbunătățire tehnică a sporit șansele descoperirii mai multor planete și probabil și a câtorva planete cu masa aproximativ cât cea a Pământului.

● Alte moduri de a găsi planete

O planetă a cărei orbită se întâmplă să o ducă direct în fața stelei sale mamă, după cum se observă de pe Pământ, va determina o ușoară scădere a luminozității

stelei. Retrospectiv, acest efect de umbrire din timpul tranzitelor a fost identificat în datele obținute de satelitul european Hipparcos, care realiza o hartă stelară. Fără ca echipa științifică să-și fi dat seama la momentul respectiv, satelitul a observat un Jupiter fierbinte încă din anul 1991. Însă efectul era prea slab, iar observațiile au fost făcute intermitent, astfel încât planeta nu a putut fi detectată până când astronomii nu au aflat că ea este acolo.

Când descoperirea primelor planete extrasolare a transformat o inițiativă la scară mică, ce era doar promițătoare, într-o ramură înfloritoare a astronomiei, vânătoarea de planete a devenit un obiectiv principal al agențiilor spațiale. Găsirea planetelor care trec prin fața stelelor-mamă pare o idee bună și ar putea fi cel mai rapid mod de a descoperi planete asemănătoare Pământului. După startul cu satelitul francez de mici dimensiuni, Corot (2004), au fost concepute alte două misiuni mai mari având acest obiectiv: satelitul Kepler al NASA (2007) și satelitul european Eddington (2008), însă cel din urmă a fost anulat.

Se consideră că un telescop spațial va putea observa un număr mare de stele simultan, într-un câmp vizual extins, pe perioade lungi de timp. Estimarea numărului de descoperiri ce vor fi făcute depinde de o serie de ipoteze referitoare la sistemele planetare existente. Dar după mai mulți ani de observații asupra a 100 000 de stele, Kepler probabil va recolta câteva zeci de planete de mărimea Pământului. Poate mai multe, poate mai puține, poate niciuna. Obiectivul proiectului este realizarea unui recensământ al planetelor de dimensiuni mari și mici, cu suficiente statistici care să arate dacă planetele de tipul Pământului sunt foarte des întâlnite, destul de des întâlnite sau foarte rare.

Dacă misiunile din spațiu și studiile de la sol vor detecta niște planete asemănătoare Pământului, următoarea provocare pentru astronomi va fi să afle dacă ele găzduiesc sau nu viață. Pentru aceasta va fi necesară examinarea directă a radiațiilor infraroșii emise de aceste planete. Lumina stelei-mamă orbește orice telescop obișnuit ce caută să detecteze slaba licărire ce provine de la o planetă mică, însă această problemă poate fi rezolvată folosind tehnica de interferometrie de anulare.

Observând steaua cu ajutorul mai multor telescoape situate la distanță mare unul față de altul și combinând inteligent lumina care vine pe fiecare dintre oglinzile telescoapelor, se poate apoi „stinge” steaua respectivă. Acesta este principiul pe care se bazează marile proiecte spațiale, concepute pentru a căuta urme de viață extraterestră la mare distanță. Terrestrial Planet Finder și Darwin sunt programe asemănătoare prevăzute de NASA și respectiv de Agenția Spațială Europeană ce urmează să se desfășoare în al doilea deceniu al secolului – atât de asemănătoare încât este de așteptat să se unească într-un singur proiect.

Ideea de bază este dispunerea mai multor telescoape în infraroșu la sute de metri distanță unul de altul, într-o formație precisă controlată prin raze laser. Acestea ar trebui să poată identifica planete asemănătoare cu Venus, cu Marte sau cu Pământul, chiar și la o distanță de 30 de ani-lumină sau mai mare. Semnăturile în infraroșu ale planetelor vor fi diferite.

O planetă de tipul lui Venus sau de tipul lui Marte va fi evidențiată printr-o puternică absorbție a radiațiilor cu lungimea de undă de 15 microni de către dioxidul de carbon din atmosfera acesteia. O planetă de tipul Pământului, pe de altă parte, va semnala prezența vaporilor de apă și a metanului prin lungimi de undă de 6, respectiv 7 microni și alte lungimi de undă. Dacă viața pe acea planetă a evoluat depășind cea mai primitivă etapă bacteriană, iar oxigenul este prezent în aer, atunci aceasta va produce ozon în atmosfera superioară, ce va absorbi lumina infraroșie cu lungimea de undă de 9 microni.

● Marte și Europa

În cadrul acestor proiecte spațiale se pleacă de la premisa că planetele pe care există viață ar trebui să se asemene la exterior cu planeta Pământ, din punct de vedere chimic. Alți oameni de știință care au preferat să caute viață mult mai aproape de casă, chiar în Sistemul Solar, au trebuit să abandoneze orice asemenea idee pentru a nu-și pierde complet speranța.

Când cele două sonde Viking ale NASA au ajuns pe suprafața lui Marte, în 1976, și au transmis imagini ale unui deșert prăfuit, lipsit de orice urmă de viață, foarte mulți oameni au trăit cea mai mare dezamăgire din întreaga eră spațială. Cu toate că, în 1965, cu mult înaintea lansării sondelor, chimistul britanic James Lovelock prezisese acest rezultat. El a adus exact același argument referitor la constituenții atmosferici, argument care urma să figureze ulterior printre metodele propuse în cadrul proiectelor Terrestrial Planet Finder și Darwin, pentru a deosebi o planetă lipsită de viață, de tipul lui Marte, de o planetă pe care există viață, de tipul Pământului, aflate în apropierea unei alte stele.

Vânătorii de planete încăpățânați au afirmat că tipurile de viață clar vizibile la suprafața Pământului nu reprezentau singurele posibilități de pe Marte. Ar putea exista organisme care să prospere în rezervoarele subterane de apă, la fel cum există multe asemenea organisme pe Pământ, care își extrag energia din procese chimice, mai degrabă decât din lumina Soarelui. Deși nu ar avea nevoie să interacționeze la scară largă cu atmosfera, totuși emanațiile reduse de gaz, în special metan, care s-ar strecura până la suprafață, ar putea constitui un indiciu al prezenței lor. Un modul spațial britanic, Beagle 2, aflat la bordul sondei europene Mars Express, a fost conceput pentru a proba această ipoteză după ce ar ajunge pe planeta roșie spre sfârșitul anului 2003, conform programului. Între timp, în anul 2002, au sosit indicii încurajatoare ale existenței gheții și a apei subterane de la sonda spațială Mars Odyssey lansată de NASA.

Același argument referitor la viața inobservabilă a fost aplicat și în cazul unuia dintre sateliții naturali ai lui Jupiter, Europa, la suprafața căruia nava spațială exploratoare a descoperit o crustă de gheață ce ascundea un ocean neluminat de Soare. De ce nu ar exista creaturi vii în acest ocean, așa cum sunt în oceanele de pe Pământ, care și-ar obține energia din materialele care se desprind din crusta de gheață? Să trimitem un echipament de foraj care să spargă gheața de la

suprafața satelitului Europa, au spus oamenii de știință, și un robot submarin care să exploreze oceanul ascuns.

Întrebarea majoră a tuturor celor care caută creaturi extraterestre, în apropiere sau la mare distanță, este: cât de ușor poate să apară viața? Cum originea vieții pe Pământ este încă necunoscută, nimeni nu știe răspunsul. Însă varianta de rezervă, apărută după ce sonda Viking a trimis acasă imaginile deșerturilor marțiene, era că viața ar fi putut înflori pe planeta roșie într-o epocă trecută, în care apa se găsea din abundență. Semnele de eroziune observate de sonda spațială care orbita în jurul planetei roșii indicau prezența de odinioară a apei de suprafață.

În anul 1996, vestea că oamenii de știință americani au descoperit niște microbi fosilizați într-un meteorit care provenea în mod sigur de pe Marte a creat senzație. Aceștia erau obiecte asemănătoare unor viermi, cu o lungime mai mică de o miime de milimetru. Însă oamenii de știință americani nu au reușit să convingă lumea științifică de faptul că aceasta era prima descoperire a vieții extraterestre din istorie. Pentru ceea ce ar fi urmat să fie considerat în cărțile de istorie drept una dintre cele mai importante descoperiri ale tuturor timpurilor erau necesare dovezi mult mai convingătoare.

„Marte se află mereu primul pe listă în ceea ce privește căutarea vieții extraterestre în afara Pământului”, a spus chimistul André Brack de la Centrul de Biofizică Moleculară din Orléans. „Toți cei care cred că viața ar trebui să fie un fapt obișnuit în Univers, vor fi dezamăgiți dacă pe Marte nu a existat niciodată viață. Însă trebuie să căutăm dovezile mai sistematic, fără a ne aștepta să descoperim viața la suprafață”.

● Radioamatori cosmici

Respectata revistă *Nature* se ocupă de science-fiction? Aceasta a fost reacția generală în anul 1959, când *Nature* a publicat o lucrare de Giuseppe Cocconi și Philip Morrison, astrofizicieni la Cornell. Ei sugerau că microundele radio ce provin din vecinătatea altor stele ar trebui monitorizate în vederea căutării mesajelor codificate trimise de către ființe inteligente. „Probabilitatea de a le găsi este greu de estimat”, scriau Cocconi și Morrison. „Însă dacă nu căutăm deloc, șansele sunt nule”.

În anul următor, Frank Drake a înregistrat microunde emise de două stele apropiate, Tau Ceti și Epsilon Eridani, utilizând un radiotelescop de la Green Bank, West Virginia. Nu a descoperit nimic semnificativ. Însă a continuat pentru a putea găsi o modalitate de estimare a numărului de civilizații din galaxia noastră, ale căror emisii electromagnetice ar trebui să fie ușor de detectat.

Numită ecuația Drake, aceasta constă în a înmulți rata de formare a stelelor cu procentul celor care au sisteme planetare și cu numărul mediu de planete pe care poate exista viață dintr-un sistem. Până aici se stabilește suportul fizic. Apoi sunt introduși în ecuație factorii biologici și cei tehnologici: procentul planetelor pe

care apare viața, procentul planetelor pe care apar civilizații inteligente, procentul civilizațiilor a căror tehnologie transmite semnale ale existenței lor în spațiu și intervalul de timp cât persistă aceste semnale detectabile.

Rezultatul ecuației era de ordinul milioanelor pentru optimiști, și egal cu zero pentru pesimiști. Printre cei din urmă se aflau și specialiștii în biologie evolutivă, conștienți de cât de dificilă, improbabilă, recentă și probabil de scurtă durată este apariția pe Pământ a unei specii capabile de comunicare. În timpul Războiului Rece, aceasta părea să fie la un pas de a-și provoca propria dispariție, și unul dintre motivele oferite de susținătorii programului SETI de căutare a inteligenței extraterestre era recâștigarea încrederii în faptul că puterea competenței nu duce în mod necesar la autodistrugere.

O replică la ecuația lui Drake era întrebarea Fermi: „Unde sunt ei?”, ce a fost pusă, după cum se spune, de fizicianul Enrico Fermi de la Chicago, în timp ce lua masa cu câțiva prieteni fizicieni. Întrebarea se referea la convingerea larg răspândită că, în curând, ființele umane vor putea călători spre stele și se vor putea stabili pe orice planetă prielnică. În cazul galaxiei noastre, cu o vechime de mai multe miliarde de ani, a fost suficient timp ca ființe inteligente să apară și să dezvolte tehnologii astronautice superioare. Deci, de ce nu au apărut încă pentru a coloniza Pământul?

În pofida numeroaselor obiecții, Drake și tot mai mulți radioamatori cosmici au continuat eforturile în vederea detectării semnalelor inteligente, influența lor fiind în continuă creștere. Carl Sagan de la Cornell și Iosif Shkolovskii de la Institutul Astronomic Shternberg din Moscova au devenit exponenții acestei inițiative. Shkolovskii a scris despre „posibilitatea ca planeta noastră să se fi aflat timp îndelungat în interiorul unui fascicul de radiație electromagnetică trimis către noi de niște ființe inteligente de pe o stea binecunoscută, situată la o distanță de câteva zeci de ani-lumină”.

Programele pentru detectarea semnalelor au obținut finanțare publică în Uniunea Sovietică și în Statele Unite. Sisteme din ce în ce mai sofisticate înregistrau unde radio de la un număr mare de surse și le verificau automat pentru a detecta cel mai mic sunet diferit de cele naturale. În anii 1990, lumina vizibilă era, de asemenea, analizată în vederea detectării unor posibile raze laser. Dacă s-ar fi obținut vreun rezultat, am fi aflat deja.

În 1974, Drake a utilizat uriașul radiotelescop de la Arecibo, din Puerto Rico, pe post de transmițător. El a emis un scurt mesaj de pe Pământ către orice ființe inteligente care ar popula roiul globular M13 din constelația Hercule. Cum acesta se află la distanța de 25 000 de ani-lumină, răspunsul nu poate sosi mai înainte de 50 de milenii. Acest fapt a provocat însă furia lui Martin Ryle de la Cambridge, care a considerat acest mesaj drept o invitație adresată tuturor civilizațiilor extraterestre agresive să vină și să ne atace.

Apărătorii lui Drake au făcut observația că pulsațiile de mare putere ale sistemelor radar militare se îndreptau oricum în toate direcțiile prin galaxie cu

viteza luminii, fără a mai aminti muzica pop, telenovelele și altele asemenea. Murmurul electromagnetic din jurul Pământului, în continuă expansiune, ajungea deja la multe dintre stelele apropiate, ca pentru a năuci orice critic de televiziune care s-ar fi aflat acolo. Alți comentatori erau îngrijorați până și de contactul cu extratereștrii de bună-credință care, chiar limitat la conversații prin unde radio, ar putea fi demoralizant. Dacă extratereștrii ar părea mult mai deștepți și mai fericiți, ființele umane ar putea renunța să mai facă descoperiri și să ia decizii, mulțumindu-se să ceară sfaturi de la aceștia.

Comunicarea interstelară necesită, în afara inteligenței, membre care să aibă abilități de manipulare tehnologică și minți ambițioase și neobosite, dornice de comunicare. Se presupune că delfinii sunt animale destul de inteligente, însă lipsite de ajutorul mâinilor nu ar reuși să construiască un radiotelescop sau un fascicul laser ca să comunice cu delfinii extratereștri. În orice caz, aceștia ar putea considera această îndeletnicire drept o distragere inutilă de la sporturile de apă pe care le practică. Probabil că giumbușlucurile cu prietenii reprezintă cea mai înaltă formă de înțelepciune.

● Și dacă totuși suntem singuri?

Când astrofizicianul Martin Rees de la Cambridge comenta, la începutul secolului al 21-lea, stadiul căutării vieții extraterestre, el cunoștea din cosmologie că locuim într-un Univers deosebit de biofil – ospitalier vieții. Chiar și așa, el era sceptic în ceea ce privește „fantezia comună” că ar exista planete asemănătoare Pământului locuite de oameni asemănători nouă. Chiar dacă inteligența ar fi larg răspândită, Rees credea că am putea deveni conștienți doar de o fracțiune mică, atipică, care să fie simultan comunicativă și inteligibilă. Poate nici măcar de aceasta.

„Din anumite puncte de vedere, ar fi foarte dezamăgitor dacă această căutare a inteligenței extraterestre ar fi sortită eșecului”, a afirmat Rees. „Pe de altă parte, acest eșec ne-ar spori încrederea în sine la nivel cosmic. Dacă micuțul nostru Pământ ar fi unicul sălaș al inteligenței din Univers, l-am privi dintr-o perspectivă cosmică mai puțin umilă decât ar fi cazul dacă galaxia ar fi deja plină cu forme complexe de viață”.

Un astfel de rezultat ar da speciei noastre motive mai puternice ca niciodată de a prețui Pământul ca unic sălaș al inteligenței și de a nu respinge viitorul vieții aici. În același timp, Rees a prezis o deschidere viitoare a propriei noastre forme de viață inteligentă, care ar putea dura mai mult decât miliardele de ani de când strămoșii noștri erau bacterii. „Chiar dacă viața există numai pe Pământ”, a afirmat Rees, „este timp ca ea să se răspândească de aici în întreaga galaxie”.

- *Referitor la posibilitatea existenței unui nor viu în spațiu, vezi CRISTALE DE PLASMA. Pentru alte subiecte strâns înrudite, vezi PĂMÂNTUL, ORIGINEA VIEȚII ȘI BACTERIILE EXTREMOFILE.*



O genă care ne face mai elocvenți decât cimpanzeii

ÎN URMĂ CU APROXIMATIV 75 000 DE ANI, niște pescari din extremitatea sudică a continentului african au dus în peștera Blombos diferite specii siluriforme, *Cymatoceps nasutus* și *Chrysoblephus gibbiceps* (două specii de plătică de mare), împreună cu pești comestibili și ocazional câte o focă sau un delfin. Acest adăpost se află încă la 35 de metri deasupra țărmului, în stâncile de calcar, la 300 de kilometri est de Capul Bunei Speranțe.

Săpăturile arheologice din peștera Blombos au început în anul 1997. Descoperirile au dublat perioada de timp de când se presupunea că existau oameni cu capacități mintale comparabile cu ale noastre. Pe lângă dovada începutului pescuitului marin, probabil cu sulite, s-a descoperit că locuitorii obțineau carne de la antilope, iepuri și de la multe alte animale, incluzând cel puțin un rinocer. În peșteră se afla un adevărat atelier de unelte de piatră și de vârfuri de sulite, meșteșugite cu o simetrie și precizie nemaiîntâlnită, mult timp de atunci, în celelalte părți ale lumii. Inventarul includea și cele mai vechi unelte din os șlefuit care sunt cunoscute astăzi.

Peștera Blombos a completat o mare lacună a preistoriei. Oameni care se asemănau din punct de vedere anatomic subspeciei noastre, *Homo sapiens sapiens*, cu o constituție ușoară și fruntea înaltă, au apărut în Africa în urmă cu peste 100 000 de ani. Totuși, dovezi ale artei lor deosebite datează doar de 35 000 de ani, și au fost descoperite în special în Franța. Părea că acești oameni au fost destul de neîndemânatici timp de 60 de milenii, până când au ajuns pe promontoriul vestic al Eurasiei, unde ar fi urmat cursuri la vreo Sorbona preistorică și s-ar fi deșteptat dintr-o dată.

Această iluzie s-a datorat cercetărilor arheologice care, vreme de 200 de ani, au fost mult mai intense în Europa decât în alte părți ale lumii. O dovadă indirectă a faptului că viziunea eurocentrică era greșită este apariția lui *Homo sapiens sapiens* în Australia, datată acum aproximativ 50 000 de ani, după traversarea temerară a oceanului, prima realizată vreodată în mod intenționat de o primată. Totuși cele mai vechi artefacte ce atestau o măiestrie de ordin modern proveneau doar din Europa – înainte de descoperirile din Africa de Sud.

O descoperire importantă din peștera Blombos, din anii 1999 și 2000, a fost cea a obiectelor de artă simbolică, cele mai vechi găsite vreodată, aproape de două vetre diferite. Acestea erau bucăți mici de ocru roșu, un pigment pe bază de oxid de fier folosit vreme îndelungată de strămoșii noștri pentru a-și picta corpul și pentru a vopsi pieile de animale. În aceste cazuri rare, suprafețele de ocru sunt plate și gravate cu linii paralele care se întretaie, pentru a forma triunghiuri ce sunt îmbinate într-un motiv geometric complex.

Christopher Henshilwood de la Institutul de Cercetare a Patrimoniului African din Cape Town a condus săpăturile de la Blombos. „Nu știu ce reprezintă aceste mici gravuri, dar după părerea mea sunt simbolice”, a explicat el. „Îmi place să mi-l imaginez pe cel care le-a realizat explicându-le celorlalți modelele într-un limbaj asemănător cu limbajul nostru articulat.”

● Oameni la fel de inteligenți ca și noi

Cu această afirmație, Henshilwood a reactualizat o ipoteză principală a secolului al 20-lea. Aceasta se referea la transformarea omului în timpul ultimei ere glaciare, din vânător-culegător destul de iscusit în specia dominantă a planetei, o dată cu dobândirea puterii moderne a limbajului. Era, după cum s-ar părea, factorul cheie care a permis oamenilor astfel dotați să îi înlocuiască pe titularii *Homo erectus* și omul de Neanderthal.

Ideea unor guralivi care au preluat controlul asupra lumii era de actualitate încă din anii 1950, când William Golding și-a imaginat în romanul său *Moștenitorii* unul dintre cele mai dramatice momente din îndelungata istorie a Pământului. Un Neanderthalian surprinde pentru prima dată fluența vorbirii umane moderne și râde. „Sunetele au creat în mintea sa un tablou de forme îmbinate, subțiri și complexe, curgătoare și comice, diferite de inflexiunea prelungă a țipătului unui uliu, și încălcite ca algele de pe plajă după o furtună.”

Bietul *Homo sapiens neanderthalensis*. Dacă viața ar fi dreaptă, această subspecie ar deține încă cel puțin controlul Eurasiei. Neanderthalienii erau vânători-culegători robusți și deștepți, capabili să îndure schimbările climatice teribile din timpul erei glaciare. Erau suficient de sensibili încât să acopere un mormânt cu flori.

Ni-i putem imagina transmitându-și semnale orale viguroase în timpul vânătorilor și fredonându-le duios femeilor și pruncilor lor. Gura și gâtul Neanderthalienilor nu erau prea bine adaptate, din punct de vedere anatomic, producerii sunetelor complexe specifice vorbirii, mai ales celor vocalice. Părerile sunt împărțite referitor la cât de important este acest aspect. Poți să scrii o ebraică inteligibilă fără a specifica vreo vocală.

Cu toate acestea, faptul că *Homo sapiens sapiens* cei inteligenți au plecat din Africa și au pătruns pe întreg cuprinsul Eurasiei, precum extraterestrii invadatori dintr-o povestire SF, pare a fi o realitate. Ciocnirea cu Neanderthalienii este cel mai bine atestată în Europa, unde antropologii și arheologii îi numesc pe

reprezentanții propriilor noștri strămoși oameni de Cro-Magnon. Cine ar putea ști dacă nou-veniții au fost prietenoși, disprețuitori sau criminali? Însă la doar câteva mii de ani de la prima întâlnire, Neanderthalienii au dispărut. Ar putea fi scuzați dacă au murit de descurajare, fiind depășiți în practic toate privințele.

Artefactele indică sosirea în Europa a unor oameni foarte inteligenți în perioada de tranziție de la paleoliticul mijlociu la cel superior. Apar picturi, sculpturi și instrumente muzicale. Calendarele lunare, gravate în coarne de cerb, având cercuri și semiluni, sunt opera gânditorilor paleolitici. Unelte și armele de vânătoare erau atât de șlefuite încât meșteșugarii secolului al 21-lea nu pot realiza cu ușurință copii ale acestora. Se pare că aceștia erau oameni la fel de inteligenți ca și noi.

Tranziția echivalentă din punct de vedere arheologic în Africa este de la Epoca mijlocie a pietrei la cea târzie, iar descoperirea de la Blombos împinge limita înapoi în timp până la perioada timpurie a ultimei ere glaciare. În perioada în care gheața s-a retras, cu 11 000 de ani în urmă, omul modern a ocupat toate continentele și țărmurile Antarcticii. Migrarea lui temerară prevestea timpurile când acesta va călători spre Lună și chiar mai departe. Și, în fiecare parte a lumii, nou-veniții aveau același dar al vorbirii.

Capacitatea de a rosti și de a înțelege propoziții „încâlcite” era o explicație convingătoare a bruștei înfloriri a umanității. Vorbirea fluentă a permis împărtășirea deprinderilor complexe și a proiectelor între grupuri mari de oameni, transmiterea informației, a ideilor și a amintirilor din generație în generație. Aceasta a devenit principalul intermediar al comportamentului social uman, de la taclalele între vecini și discuțiile referitoare la meșteșuguri și strategii de vânătoare, până la povestiri, religie și politică.

Aceasta era o ipoteză elegantă, în orice caz. Cât despre modul în care a apărut limbajul, Steven Pinker de la Institutul de Tehnologie din Massachusetts a făcut o comparație cu dezvoltarea trompei de elefant prin unirea nărilor cu mușchii buzei superioare. În cartea sa intitulată *Instinctul limbajului* (1994), el sugera: „Limbajul ar fi putut să apară, și probabil așa a și apărut, într-un mod asemănător; printr-o restructurare a circuitelor din creierul primatelor care inițial nu au avut niciun rol în comunicarea vocală și prin adăugarea câtorva noi.”

Conform lui Pinker, procesul a început acum 200 000 de ani sau chiar mai înainte. Deci cu mult înainte de pescarii din peștera Blombos, dar și de perioada înfloririi maxime a omului de Cro-Magnon din povestirea lui Golding. Chiar și așa, pe scările timpului geologic și evolutiv, procesul este extrem de recent.

Ca inovație, vorbirea este pe picior de egalitate cu apariția ochilor și a dinților animalelor. Însă dacă ne imaginăm Turnul Eiffel, înalt de 300 de metri, ca reprezentând timpul care a trecut de la apariția primelor animale, intervalul de timp care ne separă de primii noștri strămoși elocvenți nu reprezintă mai mult decât grosimea brațului pe care un turist îl ține pe balustrada din vârful turnului. Faptul că o evoluție atât de importantă este atât de apropiată în timp geologic ne

îndreptățește să așteptăm din partea oamenilor de știință niște explicații destul de precise despre cum a avut loc. Anatomia, arheologia, științele lingvistice, cercetarea creierului și genetica s-au focalizat toate asupra acestei probleme, interacționând într-un mod fascinant.

● Londonezi cu dificultăți de vorbire

La persoanele drepte și la aproape jumătate din cele stângace regiunile răspunzătoare de capacitatea de vorbire sunt concentrate în partea stângă a creierului. Alte zone specifice sunt implicate în auz, în decodificarea cuvintelor și în așezarea cuvintelor în ordinea corectă. La adulți, afecțiunile cerebrale din apropierea urechii stângi pot duce la pierderea definitivă a capacității vorbirii. Afecțiuni similare la copii vor duce rareori la pierderea acestei capacități datorită plasticității crescute a creierului, în cazul lor, și a capacității lui de a-și reorganiza funcțiile. Acest fapt a fost dedus cu mult timp în urmă din diferite tipuri de tulburări de vorbire apărute la persoane lovite la cap sau care au suferit un accident vascular cerebral și din studiul copiilor cu afecțiuni cerebrale.

În 1964 Eric Lenneberg de la Cornell a observat că anumite deficiențe de vorbire și de exprimare par a fi ereditare. Magia deprinderii vorbirii prin ceea ce el a numit „cufundarea naturală în marea limbajului” este câteodată departe de a fi perfectă. Când alte deficiențe fizice sau mintale sunt excluse, un număr mic de cazuri implică tulburări de exprimare care par a avea o origine genetică. Studii ulterioare pe gemeni au confirmat această idee, totuși au trecut mai mult de 30 de ani până la identificarea unei gene specifice care, dacă era defectă, predispunea persoanele în cauză la dificultăți de vorbire și de exprimare.

În 1990, Jane Hurst, clinician specialist în genetică de la Spitalul pentru Copii Great Ormond Street din Londra, a anunțat descoperirea unei familii în care jumătate din membri sufereau de o dereglare gravă de vorbire. Ei aveau o dificultate în a-și controla gura și limba pentru a produce sunete ale vorbirii – o boală cunoscută sub numele de dispraxie verbală. Străinii înțelegeau cu greu ce spuneau persoanele afectate, dar altminteri familia s-a dezvoltat, numărând 30 de membri din trei generații, toți locuind în aceeași zonă a Londrei. Dispraxia verbală a apărut la 15 dintre ei, după un model care indica o dereglare ereditară clasică implicând mutația unei singure gene.

Lingviștii de la Universitatea McGill din Montreal și specialiștii în neuroștiințe de la Institutul pentru Sănătatea Copilului, din Londra, au examinat familia care a primit numele de cod KE. Lingviștii au afirmat că membrii afectați ai familiei KE aveau o problemă specifică referitoare la gramatică. Specialiștii în neuroștiințe au spus că problemele de vorbire erau asociate cu dificultăți de exprimare mai generale, relative la identificarea sunetelor vorbirii și la înțelegerea propozițiilor.

„Membrii familiei KE au fost foarte amabili și răbdători la toate testele la care i-am supus”, a spus Faraneh Vargha-Khadem de la Institutul pentru Sănătatea

Copilului. „A durat mai mult de un deceniu până să găsim o primă genă implicată în vorbire și exprimare, și să stabilim rolul său în dezvoltarea creierului unui copil.”

O echipă de geneticieni de la Oxford condusă de Anthony Monaco a căutat gena, ce a fost denumită SPCH1, în interiorul cromozomilor familiei – cele 23 de perechi de grupări de gene din celulele umane. În 1998 ei au descoperit, în cromozomul 7, două segmente puțin depărtate care s-au dovedit a fi identice la bunica afectată și la descendenții săi deficienți din punct de vedere lingvistic. Aceste segmente nu aveau echivalent la membrii sănătoși ai familiei. Cum SPCH1 trebuia să se afle foarte aproape de segmentele identificate, căutarea s-a restrâns la aproximativ 100 de gene.

Aplicarea îndelungată a metodei încercare-eroare ar fi dus neîndoiește, în cele din urmă, la găsirea vinovatului. Printr-un noroc surprinzător, calea a fost scurtată când Jane Hurst, cea care a descoperit familia KE, a găsit o persoană neînrudită cu aceștia având aceeași dereglare de vorbire. Un defect în aceeași zonă a cromozomului 7 a dus, în acest caz, la o rearanjare a genelor, numită translocatie, care a dislocat o singură genă ușor de identificat. Aceasta făcea parte dintr-o familie de gene care era binecunoscută echipei de la Oxford, numită familia de gene FOX. Prin urmare, a primit numele de gena FOXP2.

În SUA, la Centrul de Secvențiere a Genomului al Universității Washington, fuseseră deja descifrate mai multe gene din regiunea cromozomului 7. Printre acestea se număra și FOXP2, ceea ce a ușurat sarcina cercetătorilor de la laboratorul Oxford. Acesta a fost un exemplu clar al modului în care Proiectul Genomului Uman a accelerat procesul de căutare a genelor implicate în boli ereditare.

Cecilia Lai și Simon Fisher de la Oxford au făcut descoperirea finală că FOXP2 și SPCH1 erau una și aceeași genă. Membrii bolnavi ai familiei KE au o versiune mutantă, care lipsește în cazul membrilor sănătoși și al câtorva sute de persoane examinate. O singură greșeală de tipar în literele codului genetic, înlocuirea unui A cu un G, duce la formarea unei proteine în care aminoacidul arginină este înlocuit cu aminoacidul histidină.

Rolul unei proteine FOX este de a activa sau de a inhiba expresia unor gene destul de diferite implicate în formarea și în suicidul celulelor. Ea ajută la sculptarea țesutului cerebral al copilului aflat în pântecul mamei. Eroarea identificată apare în regiunea moleculei proteice ce participă în mod direct la această acțiune. Fiecare dintre membrii afectați ai familiei KE are o versiune corectă și o versiune mutantă a genei FOX. Criza proteinelor FOX eficiente, ce survine drept urmare, duce evident la o dezvoltare anormală a căilor neuronale implicate în vorbire și limbaj.

„Aceasta este prima genă, din câte știm, care este implicată în astfel de căi și care promite să ofere o înțelegere a proceselor moleculare ce mediază această trăsătură specifică doar omului”, au concluzionat Monaco și colegii lui. Era un subiect

incitant. Este uluitor să descoperi că elocvența noastră pare să atârne de un fir de ață atât de subțire, care se poate rupe oricând într-un punct atât de precis determinabil la nivel molecular!”

● O istorie evolutivă dezvăluită

Următoarea întrebare era dacă gena FOXP2 umană este în mod considerabil diferită de echivalentele ei de la alte specii. Au existat modificări semnificative în perioada recentă a evoluției? În particular, versiunea umană a genei este comparabilă cu cea a cimpanzeului, cea mai apropiată rudă a noastră dintre animale? Pentru a găsi un răspuns, Monaco s-a alăturat lui Svante Pääbo de la Institutul de Antropologie Evolutivă Max Planck din Leipzig.

În 2002 verdictul a fost dat. Echipa lui Pääbo a comparat gena umană FOXP2 cu versiunile genei descoperite la trei primate (cimpanzeu, gorilă și urangutan), la o maimuță din specia rhesus macaque și la un șoarece. Când au fost interpretate în termenii proteinelor FOX pe care genele le codifică, rezultatele au fost semnificative.

În primul rând, proteinele FOX sunt atât de importante încât evoluția se abține să realizeze mutații semnificative în ele. Proteina FOXP2 la șoarece este aproape identică proteinei FOXP2 de la majoritatea maimuțelor mari și mici. În cei 70 de milioane de ani sau mai mulți de când primatetele și șoarecele au avut un ultim strămoș comun, pe vremea dinozaurilor, proteinele FOXP2 au ajuns să difere printr-o singură subunitate proteică, iar această schimbare a apărut în linia de descendență a șoarecelui. La urangutani s-a produs o mutație a unei singure subunități, după ce s-au separat de celelalte primatete, însă nesituată într-o zonă importantă a moleculei.

În pofida acestui conservatorism extrem, FOXP2 umană prezintă nu una, ci două mutații semnificative apărute de când strămoșii noștri s-au separat de cimpanzei. Din cei 715 aminoacizi ai formei umane a proteinei FOXP2, numărul 303 a devenit din treonină, asparagină, iar numărul 325 din asparagină, serină. Aceste mici transformări au un mare efect asupra funcțiilor de control celular ale proteinei.

Proteina umană FOXP2 astfel modificată a devenit universală. În genele celor mai multe proteine existența versiunilor diferite este ceva obișnuit, însă un studiu efectuat pe zeci de persoane din diferite părți ale lumii a dovedit că nu există nicio excepție în ceea ce privește configurația proteinei FOXP2 cu dublă mutație și că există doar un singur caz ce prezintă o altă mutație, fără un efect concret asupra comportamentului molecular.

În mod evident, selecția naturală a acționat extrem de puternic în favoarea acesteia. Și deși strămoșii noștri preumani s-au separat de cimpanzei acum 5-6 milioane de ani, mutațiile genei FOXP2 sunt cu mult mai recente. Printr-un calcul statistic, acestea au apărut aproape sigur în ultimii 120 000 de ani.

„Acest fapt este compatibil cu un model în care expansiunea omului modern a fost antrenată de apariția unui limbaj vorbit mai avansat”, a raportat echipa Leipzig-Oxford. „În orice caz, pentru a stabili dacă FOXP2 este într-adevăr implicată în aspectele fundamentale ale culturii umane, trebuie clarificate funcțiile normale ale proteinelor FOXP2, atât la oameni cât și la cimpanzei.”

● Nu doar o singură genă a limbajului

Deși satisfăcătoare, această incursiune genetică în viețile strămoșilor noștri îndepărtați nu este finalul cercetării evoluției limbajului, ci doar un nou început. Contrar afirmațiilor unor lingviști canadieni și americani, că gena FOXP2 era implicată direct în crearea aptitudinilor gramaticale, specialiștii în neuroștiințe londonezi și geneticienii de la Oxford și de la Leipzig au fost în unanimitate de acord că acest lucru nu este adevărat. Cel mai clar efect al mutației genei FOXP2 era dispraxia.

Cimpanzeii și alte primat au exact aceeași incapacitate de a-și controla gura și limba pentru a produce sunete ale vorbirii în mod clar diferențiate. Acest fapt se potrivește perfect cu istoria evolutivă a genei normale FOXP2 dezvăluită de comparațiile între specii. Însă evoluția nu ar fi avut niciun motiv să favorizeze mutațiile atât de puternic cum a făcut-o, dacă nu ar fi existat dinainte un aparat mental pentru folosirea unui limbaj complex.

Poate că romancierul Golding avea dreptate, cu aproape o jumătate de secol în urmă, când a descris Neanderthalienii drept oameni înzestrați cu procese de gândire similare limbajului și mijloace de comunicare orală simple, dar cărora le lipsea fluenta sunetelor vorbirii complexe. Dacă ar fi așa, mutațiile genei FOXP2 s-ar putea să fi fost într-adevăr un ultim pas decisiv în evoluția limbajului uman, cu toate consecințele culturale multiple ce au decurs de aici. Încadrarea temporală este corectă.

Însă toate celelalte aspecte ale aparatului mental urmează a fi dezvăluite, la același nivel genetic. Wolfgang Enard, doctorandul la Leipzig care a fost inițiatorul comparațiilor între specii ale genei FOXP2, era foarte convins că acesta era departe de a fi finalul poveștii. El a spus: „Sperăm că aceasta este prima dintre multe alte gene ale limbajului care urmează să fie descoperite.”

Într-o perspectivă mai largă, genetica limbajului este o expediție într-un nou domeniu al cercetării creierului. Ea oferă o avanpremieră vie a ceea ce va fi posibil în deceniile viitoare, când a căuta firul neîntrerupt al explicației pornind de la evoluția moleculară la comportamentul uman va fi ceva obișnuit.

► Pentru subiecte înrudite, vezi **ORIGINEA UMANĂ, LIMBAJELE și GRAMATICA.**

VREMEA SPAȚIALĂ



De ce acum este mai turbulentă decât în trecut?

PRINTRE INSULELE NORVEGIENE LOFOTEN, marea parcă înnebunește la Maelstrøm. A băgat în sperieți o sută de generații de navigatori cu curenții săi rapizi și extrem de schimbători și cu vârtejurile spontane ce pot înghiți o barcă cu tot cu echipaj în doar câteva secunde. Un tumult și mai bizar persistă la câteva sute de kilometri deasupra, în marea electrică numită ionosferă. Vânturile care gonesc cu 200 de kilometri pe oră își schimbă brusc direcția, temperatura aerului se poate dubla în doar câteva minute, iar uneori panorama uimitoare a aurorei boreale, cunoscută și sub denumirea de Luminile Nordului, se întinde pe întregul cer, ca niște draperii unduitoare și vârtejuri spiralate.

Orașul Tromsø din nordul Norvegiei este considerat drept capitala Luminilor Nordului, atât pentru turiști cât și pentru cercetători. Localitatea este așezată chiar sub zona aurorală, o zonă inelară vastă ce înconjoară Polul Nord magnetic terestru, localizat în prezent în nordul Canadei. Parțial promovarea sa se datorează și climatului relativ blând al orașului Tromsø, menținut astfel datorită Curentului Golfului din Atlantic, în pofida situației sale la o latitudine de 70 de grade spre nord, în interiorul Cercului Arctic. Aceasta și pentru că iarna este anotimpul cel mai potrivit pentru a vedea aurorele, în timpul îndelungatei nopți polare.

Populațiile antice din Scandinavia considerau că aurorele erau opera zeilor războiului sau pur și simplu fantome ale fecioarelor, care trebuiau să fie salutate fluturând o pânză albă. La celălalt capăt al lumii, populația Maori din Noua Zeelandă credea că aurora australă, sau Luminile Sudului, reprezenta semnalele de avertizare trimise de navigatorii polinezieni care se aventuraseră prea mult spre sud. Nu există nicio dovadă care să ateste vreo încercare de salvare.

Astăzi, oamenii de știință consideră aurorele niște spectacole de televiziune naturale. Fascicule de particule atomice, accelerate și direcționate prin spațiu exact ca fasciculele de electroni din tuburile TV, ajung în atmosfera superioară și determină emisiile de radiație luminoasă ale atomilor. Arta cinetică este o imagine virtuală a norilor de plasmă, a maselor magnetizate de electroni și a atomilor ionizați care roiesc și se agită în atmosfera terestră.

Aurorele maiestuoase sunt uneori vizibile la mari distanțe față de zona aurorală obișnuită. Ele își fac apariția când o rafală puternică de gaze, expulzată de către Soare cu câteva zile înainte, comprimă câmpul magnetic și modelează liniile de câmp sub forma unei cozi pe partea întunecată a Pământului. Acolo exploziile invizibile propulsează particulele de-a lungul liniilor de câmp magnetic, care le dirijează spre regiunile polare nordică și sudică, unde aurorele apar simultan. Fenomenul larg răspândit al aurorelor reprezintă cea mai evidentă dovadă că Pământul este expus vremii spațiale provocate de furtunile din atmosfera solară.

Polii magnetici se deplasează, iar în urmă cu 300 de ani zona aurorală se afla deasupra Scoției și a sudului Suediei. În jurul anului 1724, George Graham de la Londra și Anders Celsius de la Uppsala au descoperit furtunile magnetice, semnalate prin devieri ale acelor busolelor care apăreau simultan cu aurorele. La sfârșitul secolului al 19-lea aceste efecte au fost corelate, ca frecvență și ca intensitate, cu numărul petelor solare de pe suprafața Soarelui, care variază în cicluri de 11 ani.

În 1896, la Kristiania (astăzi numită Oslo), fizicianul Kristian Birkeland a făcut un mare salt în imaginație, cu ajutorul unui glob pământesc de jucărie. El a instalat un electromagnet înăuntrul micului glob, pentru a simula câmpul magnetic, și a vopsit exteriorul într-o culoare fluorescentă. Apoi a plasat macheta într-o cameră cu vid și a bombardat globul de jucărie cu raze catodice la o tensiune de 6 000 V. Nimeni nu știa exact ce erau aceste raze, însă erau foarte la modă în toate laboratoarele de fizică la acea vreme.

Și când colo, ce să vezi? În jurul polilor magnetici s-au format inele luminoase, exact ca zonele aurorale. În anul următor, J. J. Thomson de la Cambridge a identificat razele catodice ca fiind alcătuite din primele particule subatomice cunoscute – electronii. Astfel, Birkeland a putut să afirme, în consecință, că aurorele se datorau electronilor cu energii înalte ce ajungeau pe Pământ de la Soare, și care impactau atmosfera.

Aceasta a fost o idee foarte înțeleaptă care a stimulat investigațiile aurorale, prin intermediul unor experimente de laborator avansate. Din perspectiva ulterioară a evenimentelor, Birkeland a avut dreptate când a evidențiat materia ionizată călătorind de la Soare spre Pământ. El a greșit când a presupus că acest fenomen avea loc în vid și numai în timpul exploziilor solare. Iar particulele nu au o traiectorie atât de bine definită în atmosfera din zona aurorală, așa cum își imaginase el.

O sută de ani mai târziu, succesorii lui Birkeland și-au format o imagine mult mai completă și totodată mai complexă, care însă nu a revelat cauzele exacte ale aurorei. La acel moment, Tromsø era deja centrul operațiunilor unei rețele de radare răspândite în nordul Scandinaviei. Numit EISCAT (European Incoherent Scatter), acesta este un proiect la care participă șapte națiuni și în cadrul căruia s-au făcut observații asupra norilor turbulenți de plasmă din atmosfera superioară cu ajutorul semnalelor radar trimise de la o stație la alta, încă de la prima campanie de lucru a britanicilor, în 1981.

„Aici, în zona aurorală, oamenii de știință și-au petrecut zeci de ani folosind baloane, rachete și sateliți, dar și radare, observatoare magnetice și camere foto aurorale amplasate la sol, pentru a încerca să explice conexiunea Soare-Pământ”, a spus Tony van Eyken, directorul proiectului EISCAT. „În zilele bune, mă gândesc uneori că poate începem să lămurim câte ceva. Dar de fapt sunt multe lucruri pe care încă nu le înțelegem.”

O dată cu progresele obținute în cunoașterea vremii spațiale, o mai bună înțelegere a devenit necesară din motive practice. Pe măsură ce folosirea radioului s-a extins la scară largă, rolul de oglindă al ionosferei a fost compromis în timpul furtunilor solare, datorită întreruperilor de comunicare ce apăreau în special la latitudini înalte. În 1942, operatorii radar englezi au crezut că germanii le bruiau transmisiile, însă ulterior s-a dovedit că de fapt Soarele emitea unde radio puternice. Prin urmare, se putea monitoriza activitatea solară după intensitatea undelor sale radio, cu mai puțin efort decât presupunea numărătoarea petelor solare.

Furtunile magnetice au încetat să mai fie o curiozitate nevinovată când au întâlnit structurile metalice lungi create cu tehnologia secolului al 20-lea și au indus în acestea curenți electrici de mare intensitate. Conductele de petrol, spre exemplu, sunt predispuse la eroziune accelerată. Cele mai vulnerabile la creșterile intensității curentului electric sunt cablurile ce distribuie energia electrică, așa cum a demonstrat o pană extinsă de curent din Québec cauzată de o furtună solară, în 1989.

Navetele spațiale sunt și ele supuse riscului. Scânteile datorate efectelor electrice din atmosfera terestră pot dăuna echipamentelor de pe sateliți. Atmosfera exterioară se dilată și ea în timpul furtunilor și deviază sateliții pe orbite joase sau chiar îi poate distruge. Masele de particule subatomice de energii înalte ce provin din exploziile solare, numite flăcări solare, pot avaria panourile solare și alte echipamente electronice de pe sateliți, iar în cazuri extreme pot defecta chiar și computerele de la sol. Și cum microcipurile devin tot mai minuscule, ele sunt din ce în ce mai vulnerabile la vremea spațială.

Nici astronautii nu sunt scutiți de pericole. În prezent, ei pot fi avertizați cu o jumătate de oră înainte, acesta fiind intervalul dintre momentul în care detectoarele cu raze X din spațiu înregistrează o flăcărie solară și momentul în care particulele energetice ajung la ei. Stația Spațială Internațională este dotată cu refugii-cușetă ecranate de apă, însă un astronaut surprins în spațiu deschis, de exemplu pe Lună sau pe Marte, poate fi ucis de aceste particule, adesea numite protoni solari.

„Timp de mii de ani strămoșii mei s-au minunat de vremea spațială reflectată de apariția Luminilor Nordului, dar aurora nu a rănit niciodată vreun marinar sau vreun fermier”, a comentat Paal Brekke, un astrofizician norvegian de la Agenția Spațială Europeană. „Numai datorită tehnologiilor spațiale moderne, electrice și electronice, efectele Soarelui au devenit periculoase pentru astronauti. Cu cât

facem mai multe activități în spațiu, cu atât vor deveni mai grave și poate chiar mai costisitoare problemele create de vremea din spațiu.”

● Lupta cu vântul solar

Prima surpriză științifică din Era spațială a apărut în 1958, când James van Allen de la Iowa a montat un contor Geiger pe primul satelit american, Explorer-1, și a detectat cu acesta particule atomice cu energii mari captate în câmpul magnetic terestru. Ele formau o centură de radiație (ulterior, mai multe centuri) în jurul Pământului. Dar aceasta era o pistă falsă. Chiar dacă unele particule erau de origine solară, aceasta nu contrazicea viziunea general acceptată conform căreia emisiile solare sunt intermitente.

Totul s-a schimbat câțiva ani mai târziu, o dată cu descoperirea vântului solar. Acesta este alcătuit din particule cu sarcină electrică de energii mai mici, dar care emană continuu din atmosfera solară și transportă cu ele câmpul magnetic solar. În general, câmpul magnetic terestru reprezintă o barieră pentru vântul solar, astfel încât acesta se rotește în jurul planetei. Se creează astfel o magnetosferă modelată ca o cometă, rotunjită în partea dinspre Soare și întinzându-se precum coada unei comete în partea opusă.

Modificările vântului solar perturbă magnetosfera. Ele apar adesea datorită unor caracteristici ale vântului solar, fără a fi nevoie de contribuția unor fenomene speciale pe Soare. De exemplu, direcția câmpului magnetic din vântul solar se poate schimba brusc la câteva zile, uneori fiind aproximativ aliniat cu câmpul magnetic terestru, alteori având direcție opusă acestuia.

Această schimbare apare deoarece vântul solar trage de magnetismul solar ca de o gumă de mestecat. La ecuatorul solar, liniile de câmp care ies și care intră sunt foarte apropiate unele de altele. Suprafața pe care se produce aceasta nu este plană, ci ondulată, ca fusta unei balerine. Pe măsură ce se rotește Soarele, Pământul e uneori deasupra fustei, alteori dedesubtul ei.

Tot vântului solar i se datorează și undele de șoc rezultate în urma coliziunii dintre curenții rapizi și cei lenți ai acestuia, provenind din diferite zone ale atmosferei solare. Aceste unde reapar la intervale de 27 de zile, pe măsură ce Soarele se rotește, așadar sunt cunoscute drept zone de interacțiune co-rotative. Însă cele mai mari turbulențe ale vântului solar sunt produse de suflurile puternice de gaz numite eiecții de masă, ce apar în urma exploziilor din atmosfera solară.

În cazul furtunilor solare puternice, evenimentele urmează o succesiune bine-cunoscută. Flăcările solare emit raze X care saturează atmosfera terestră exterioară după 8 minute, extrăgând forțat electronii din atomi și provocând astfel tulburări ionosferice bruște. Exploziile corespundente de particule energetice apar după o jumătate de oră. Dacă o eiecție de masă se îndreaptă spre noi, ea poate ajunge pe Pământ după 2–4 zile și va comprima magnetosfera terestră.

Cea mai vulnerabilă este coada magnetosferei, care fâlfâie înspre partea întunecată. Presiunea unei ejeții de masă asupra cozii poate genera o explozie magnetică în locul respectiv, ceea ce duce la apariția aurorelor. Pământul poate de asemenea să genereze un ou magnetic, dacă o parte a cozii magnetosferei se desprinde sub forma unui blob care va fi purtat în spațiu de către vântul solar.

Particulele vântului solar pătrund în magnetosferă prin această „ușă din spate” atunci când câmpurile magnetice solar și terestru fuzionează brusc. Doi sateliți, Equator-S din Germania și Geotail din Japonia, au adus dovezi clare ale unor astfel de evenimente, în 1998. Atunci, jeturi de particule ce alcătuiau vântul solar s-au revărsat în magnetosferă timp de mai mult de o oră.

Alte particule solare intră pe „ușa din față” atunci când magnetismul vântului solar deschide câmpul protector al Pământului dinspre partea Soarelui, în mod similar. Iar în cavitățile adânci ale magnetosferei, deasupra polilor magnetici, particulele solare se adună ca microbiștii rămași fără bilete, așteptând undele sau alte turbulențe ce le-ar putea împinge prin ecranul de protecție terestru. În interiorul magnetosferei, particulele solare se amestecă cu atomii ionizați și cu electronii evadați din atmosfera terestră.

Un cuartet de sateliți numit Cluster a fost lansat în spațiu în anul 2000 pentru a se obține noi informații despre lupta dintre Pământ și vântul solar. Cei patru sateliți, construiți pentru Agenția Spațială Europeană și echipați cu 11 seturi identice de instrumente pentru detecția de particule și măsurarea câmpurilor și undelor electrice și magnetice, au zburat pe orbite foarte mari, pe deasupra polilor, până la distanța de 130 000 de kilometri de Pământ. În anumite regiuni, sateliții au fost dirijați să formeze un tetraedru (o piramidă cu baza triunghiulară).

Această formație de zbor i-a permis cuartetului Cluster să obțină primele imagini tridimensionale ale mării electrice din atmosfera terestră. Una dintre primele descoperiri a constituit-o detectarea undelor superficiale de la frontiera dintre magnetosferă și vântul solar. În loc să fie netedă, aceasta urcă și coboară o dată cu undele, ca valurile oceanului, pe o lungime de 2 000 de kilometri, și se deplasează cu peste 100 de kilometri pe secundă pe direcția vântului, îndepărtându-se de Soare.

„Oamenii de știință s-au întrebat dacă astfel de unde există în realitate, dar până când Cluster nu a măsurat dimensiunea și viteza lor, nu am avut nicio dovadă”, a comentat Nicole Cornilleau-Wehrin de la Centrul de Cercetare a Mediului Terestru și Planetar din Franța, responsabilă cu instrumentele de pe satelit ce înregistrau undele magnetice. „Noile unde arată ce pot face patru sateliți împreună. Acum putem afla cu exactitate ce cauzează apariția lor și ce pot face ele.”

● Cauzele flăcărilor solare

La sfârșitul secolului al 20-lea, sintagma „vreme spațială” intrase deja în terminologia oficială și academică, acoperind un domeniu vast al cercetării,

extinzându-se de la suprafața Soarelui și până dincolo de cele mai îndepărtate planete. Agențiile spațiale din întreaga lume au demarat Programul Solar-Terestru Internațional, în care au fost implicate peste 20 de țări și 16 sateliți.

Țara Soarelui-Răsare era deosebit de activă în cercetarea solară. În anii 1990, cel mai remarcabil succes l-a constituit Yohkoh, un satelit americano-anglo-japonez al cărui nume însemna „Rază de soare”. Yohkoh a uimit atât savanții cât și publicul de pretutindeni cu filmele reprezentând atmosfera solară fierbinte. Soarele, care se înfățișează atât de calm și stabil ochiului liber, se transformă într-o fiară sălbatică dezlănțuită ce scuipe flăcări din regiunile sale active, pe măsură ce se rotește în jurul axei sale. Imaginile au fost obținute de către camera video cu raze X de pe Yohkoh, ce detecta emisii ale unor nori de gaz la o temperatură de 2 milioane de grade Celsius – cu mult mai fierbinte față de temperatura de 5 500 de grade Celsius de la suprafața Soarelui.

În lumina vizibilă, atmosfera solară este mult mai puțin strălucitoare decât la suprafața Soarelui. În timpul unei eclipse totale, ea apare sub forma coroanei solare, de aici provenind și numele tehnic al atmosferei. Telescoapele numite coronagrafe folosesc o mască centrală pentru a crea în orice moment eclipse artificiale. Dacă se folosesc raze X, masca nu mai este necesară, pentru că atmosfera devine luminoasă, iar suprafața vizibilă a Soarelui este întunecată.

Atmosfera terestră însăși blochează razele X provenind de la Soare, dar acestea au fost puse în evidență pentru prima oară în 1948, de către experții din SUA care au folosit racheta germană V2 pentru a transporta un detector în spațiu pe o perioadă scurtă. În 1973, stația spațială Skylab, dirijată de astronauți, aparținând NASA, obținea niște imagini superbe ale Soarelui cu ajutorul razelor X, dar acestea erau limitate ca număr de rezerva de peliculă fotografică.

Camerele foto electronice de pe Yohkoh au fost primele care au furnizat milioane de imagini în spectrul razelor X și care au monitorizat modificarea activității din atmosfera solară. Un lansator japonez a plasat satelitul pe orbită în 1991, în momentul în care activitatea solară se apropia de un maxim. Cele mai fierbinți zone ale atmosferei, care erau foarte strălucitoare în spectrul razelor X, se aflau adesea deasupra regiunilor cu câteva pete solare. În 1986, când numărul petelor solare atinsese un minim, atmosfera solară era mai puțin agitată, dar totuși surprinzător de activă. Yohkoh a traversat cu brio următoarea perioadă de activitate intensă, ce a culminat în 2000, dar satelitul a devenit nefuncțional în 2001, datorită unor probleme tehnice.

„Era nemaipomenit să vezi cum se schimbă vremea solară zi de zi”, a spus Saku Tsuneta de la Observatorul Astronomic Național al Japoniei. „Furtunile solare sunt mai spectaculoase și mai complexe decât cele terestre, iar realizarea majoră făcută de Yohkoh a fost să arate că flăcările solare eliberează cantități mari de energie magnetică stocată în atmosferă.”

Flăcările solare au fost cunoscute încă din 1859, când Richard Carrington, un astronom amator din Anglia, a anunțat pentru prima dată existența unui punct extrem de luminos pe suprafața solară. Vizibile mult mai frecvent cu ajutorul razelor X, flăcările seamănă cu niște fulgere prelungite, ce durează cel puțin câteva minute. Exploziile responsabile pentru cele mai puternice flăcări sunt colosale, având forța unui miliard de bombe cu hidrogen declanșate simultan.

Yohkoh a înregistrat tot mai puține radiații cu fiecare zi care trecea. Studiind cu atenție imaginile și măsurătorile energiilor din spectrul razelor X obținute de spectrometrele de pe Yohkoh, specialiștii în fizică solară din Japonia, SUA și Marea Britanie au observat cum câmpurile magnetice care se arcuiau la mari altitudini deasupra suprafeței solare se încâlceau ca niște spaghetti. Când două bucle magnetice care merg în direcții diferite / și \ se ciocnesc într-un $\times$, liniile lor de câmp se reconectează în bucle noi $>$ și $<$, degajând totodată o cantitate enormă de energie.

Pe scurt, flăcările solare sunt explozii magnetice. Radiația X intensă provine din zonele fierbinți din atmosfera inferioară a Soarelui, unde particulele energetice accelerate descendent în timpul reconectării buclelor interacționează violent cu gazul și îl încălzesc până la 30 de milioane de grade sau chiar mai mult. Alte particule cu energii mari, accelerate ascendent în același timp, se revarsă în spațiu ca protoni solari, de care se tem astronauții, comandanții navetelor spațiale și operatorii computerelor.

● Anticiparea erupțiilor

La începutul anului 1996, o navetă spațială mai mare și mai bine echipată, SOHO, s-a ridicat la o distanță de 1,5 milioane de kilometri față de Pământ, de partea Soarelui. Construit în Europa, Observatorul Heliosferic și Solar a fost lansat de NASA în cadrul unui proiect internațional. Dintre zecile de instrumente cu care echipele din întreaga lume înzestraseră naveta, câteva au oferit noi imagini ale atmosferei solare, în domeniul ultravioioletelor.

SOHO a oferit înregistrări video remarcabile ale atmosferei solare, ca și cele ale lui Yohkoh, însă de această dată cu mai multă acuratețe și la lungimi de undă diferite, corespunzătoare gazului la temperaturi cuprinse între 80 000 și 2 milioane de grade. Noile fenomene astfel descoperite includeau unde de șoc care traversau suprafața solară pornind din locul unei explozii majore, precum și mii de alte explozii mai mici ce aveau loc zilnic, chiar dacă Soarele părea inactiv. Imaginile oferite de SOHO au devenit foarte prețuite de responsabili cu avertismentele referitoare la clima spațială adversă, de inginerii energeticieni și de comandanții sateliților.

Cele mai spectaculoase imagini de pe SOHO le-a furnizat coronagraful cu lumină vizibilă LASCO. Acesta a arătat ejecțiile de masă ca sufluri colosale de gaz proiectate în spațiu cu viteze de 500 de kilometri pe secundă sau chiar mai

mari, expansionându-se pe măsură ce avansau, până când deveneau cu mult mai mari decât Soarele. Când se îndreptau direct spre Pământ, ejecțiile de masă apăreau ca un halo imens în jurul Soarelui, și ne avertizau cu câteva zile înainte de impactul lor iminent cu magnetosfera terestră.

Oare va fi posibil să fim avertizați și mai devreme? Unii specialiști în fizica solară consideră că pentru a anticipa erupțiile solare este necesară o înțelegere mai profundă a relației dintre ejecțiile de masă, flăcările solare și periculoasele explozii de particule. La fel cum legătura dintre vulcani și cutremure nu s-a clarificat până când nu a apărut o nouă teorie – tectonica plăcilor, tot astfel este nevoie de o teorie similară referitoare la vremea solară.

Din momentul în care explodează o flacără solară, timpul de avertizare este periculos de scurt – probabil de 30 de minute, după cum am menționat anterior. Examinând imagini ale atmosferei solare, experții au căutat posibile semnale de avertizare. Ei s-au întrebat dacă nu cumva concentrațiile de gaze detectate de SOHO sau câmpurile magnetice contorsionate în formă de S, observate de Yohkoh în atmosfera solară, ar putea fi precursori ale erupțiilor iminente.

„Aici nu mai este nicio diferență între știința fundamentală și cea aplicată, deoarece un avertisment concret asupra furtunilor solare presupune noi descoperiri legate de felul în care acționează turbulenta atmosferă solară”, afirma Helen Mason de la Cambridge, care analizase datele culese de Yohkoh, SOHO și alți sateliți. „Dacă putem afla ce anume determină instabilitatea câmpului magnetic dintr-o regiune activă a Soarelui, am putea prezice mai devreme cu o oră sau chiar cu o zi că va avea loc o erupție periculoasă – iar asta poate fi o chestiune de viață și de moarte pentru astronauti.”

● Cercurile de crochet săltărețe

Una dintre misiunile oamenilor de știință în cadrul proiectului SOHO a fost justificarea temperaturii foarte înalte a atmosferei solare. Alan Title de la Institutul de Cercetare Spațială Stanford-Lockheed din California a coordonat o echipă care s-a ocupat cu studiul modelelor câmpurilor magnetice care se formau la suprafața vizibilă, așa cum le fotografiase SOHO. Ei au descoperit un uluitor „covor” magnetic, din care se desprindea un număr considerabil de mici bucle magnetice, care se ciocneau unele cu altele, înainte de a se dizolva și de a fi înlocuite de noi bucle într-un interval de 40 de ore. Title a declarat: „Acum avem dovada concretă a transferului ascendent de energie magnetică de la suprafața Soarelui până la coroana solară de deasupra.”

Ulterior, Title și echipa sa au studiat mai detaliat acest mecanism de încălzire a atmosferei cu ajutorul buclelor magnetice, folosindu-se de micul satelit Trace, lansat de NASA în 1998. Acesta transmitea imagini în ultraviolet mai clare și mai frecvente decât SOHO, care evidențiau un dans neîncetat al buclelor magnetice, vizibil datorită gazelor delimitate de câmpul magnetic. Gazul încălzit la

un milion de grade la intersecția buclelor cu fotosfera (suprafața vizibilă a Soarelui) se deplasează ascendent către vârful fiecărui arc, unde acționează ca un încălzitor puternic al atmosferei solare. Iată în sfârșit o soluție pentru acest mister al atmosferei fierbinți.

Imaginile obținute de Trace erau uluitoare. Ele înfățișau o lume de basm dinamică pe care am fi putut-o vedea dacă ne-am fi aflat pe suprafața solară, cu ochii ațintiți asupra gazului fierbinte din atmosferă. Buclele magnetice arătau ca niște cercuri de crochet săltărețe. Giumbușlucurile lor, precum și mișcarea centrifugă a norilor de gaz rece sau fierbinte erau atât de frenetice și de complexe, încât era foarte greu să le dai de capăt. La o conferință internațională a astronomilor din 2000, când Title a prezentat înregistrările video obținute cu Trace, președintele prezidiului a făcut o glumă: „Consilierea teoreticienilor se va face la finalul sesiunii.”

Succesorii lui Yohkoh, SOHO și Trace vor avea o precizie mărită a capturilor video iar imaginile vor deveni și mai complexe. Vremea turbulentă este rezultatul unei lupte fără sfârșit între gazul fierbinte care încearcă să evadeze și gravitația și câmpurile magnetice care încearcă să-i înfrâneze expansiunea. O chestiune asupra căreia teoreticienii trebuie să reflecte este capacitatea suprafeței și a atmosferei solare active de a genera câmpuri magnetice pentru ele însele, în loc să se bazeze doar pe câmpurile generate din nucleul solar.

Printre noile nave spațiale solare proiectate pentru al doilea deceniu al secolului al 21-lea se numără și Stația orbitală solară europeană (Solar Orbiter), care urmează să fie lansată în 2012. Orbita sa este prevăzută să se apropie de Soare timp de aproximativ o lună la fiecare cinci luni, la o distanță egală cu o cincime din distanța Pământ-Soare. Asta înseamnă că stația orbitală solară trebuie să reziste la o lumină solară de 25 de ori mai puternică decât pe Pământ și la explozii concentrate de particule cu energii înalte. La viteza sa maximă, nava spațială va reuși să se poziționeze deasupra aceleiași regiuni din atmosfera solară, în timp ce Soarele se rotește, astfel încât să poată monitoriza formarea furtunilor magnetice solare pe parcursul mai multor zile și să trimită pe Pământ imagini de zece ori mai clare decât cele obținute de Trace.

„A merge acolo unde nu a mai ajuns nimeni niciodată – asta este modalitatea de a face descoperiri”, a spus Eckart Marsch de la Institutul de Aeronomie Max Planck din Germania, cel care a propus Agenției Spațiale Europene proiectul Stației orbitale solare. „Ne putem aștepta să clarificăm cu această ocazie multe mistere referitoare la comportamentul Soarelui. Cât despre predicția apariției acelor particule energetice-problemă, trebuie să aflăm, cu ajutorul Stației Orbitale Solare, cum își formează Soarele acceleratoarele de particule.”

- Pentru subiecte înrudite, vezi capitolele **VÂNTUL SOLAR** și **NUCLEUL SOLAR**. Pentru efecte solare vizibile asupra climei terestre, vezi **FENOMENELE GLACIARE**, **SCHIMBĂRILE CLIMATICE** și **LUMINA PĂMÂNTULUI**.



ZONE FIERBINȚI

Există într-adevăr homoni
în adâncul Pământului?

PARLAMENTUL ISLANDEI este cel mai vechi corp legislativ din lume, încă în funcțiune. Prima dată s-a întrunit în anul 930 în Thingvellir, o arenă naturală plăcută aflată la 50 de kilometri nord-est de Reykjavik. De-a lungul mileniului care a trecut, valea s-a extins cu aproape 20 de metri, ca pentru a face loc adunării unei mulțimi din ce în ce mai mari. Geofizicienii au măsurat această extindere în continuă desfășurare, inițial folosind raze laser, apoi prin determinarea poziției la nivelul solului cu ajutorul sateliților de navigație.

Thingvellir se află în riftul principal al Dorsalei Medio-Atlantice, care se întinde de la Oceanul Sudic până la Oceanul Arctic, în mare parte sub apă. De-a lungul întregii dorsale, bazaltul încins se ridică la suprafață și îngheață, lărgind fundul oceanic. Astfel, suprafața Islandei crește din zona de mijloc spre înafară. Poți sta pe un deal, cu vederea către Thingvellir, și îți poți imagina cum placa tectonică nord-americană crește spre vest și placa tectonică euroasiatică se extinde către est.

Din punct de vedere geologic, Islanda este foarte tânără, fiind cea mai mare din numeroasele insule apărute ca urmare a activității vulcanice subacvatice recente. Ea ocupă locul în care Groenlanda s-a separat de Scoția acum 54 de milioane de ani, loc situat la originea celui mai nordic braț al Atlanticului. Pe măsură ce oceanul creștea, pământul actual al Islandei și-a ițit capul deasupra valurilor, acum aproximativ 20 de milioane de ani. În prezent, focul vulcanic coexistă nu tocmai pașnic cu cei mai mari ghețari din Europa.

În anul 1963, echipajul unui vas de pescuit a observat cum din mare ieșeau gaze și nori de fum în apropiere de coasta sudică a Islandei, iar în 24 de ore a apărut un appendice vulcanic nou-nouț, o insulă mică denumită în prezent Surtsey. Zece ani mai târziu, locuitorii din Heimaey abia și-au salvat orașul de coastă de la pieire în urma erupției vulcanului Eldfell din apropiere. Ei au stropit lava formând astfel un baraj din rocă solidificată. O erupție a vulcanului Gjalp, dedesubtul ghețarului Vatnajökull, în anul 1995, a provocat o inundație spectaculoasă.

Denumirea de gheizer provine de la Geysir, un faimos izvor artezian natural cu apă fierbinte și aburi. În Islanda te poți îmbăia în aer liber în lacuri și râuri fierbinți, sau în propria baie folosind un sistem geotermal de încălzire a apei.

Islanda acoperă aproape jumătate din necesitățile sale energetice, captând căldura care iese din pământ. Astfel, islandezii știu prea bine că locuiesc într-una din zonele fierbinți ale lumii.

Islanda este, de asemenea, o zonă importantă pentru cercetări geofizice și geologice. De ce Islanda a ieșit la suprafața oceanului în timp ce cea mai mare parte a Dorsalei Medio-Atlantice este încă sub apă reprezintă enigma preferată a cercetătorilor. Timp de 100 de ani, importante personalități europene și americane din domeniul geologiei au explicat Islanda islandezilor când într-un fel, când într-altul. Studenții se gândesc la acele teorii în timp ce savurează băile fierbinți, întrebându-se dacă măcar vreuna dintre ele este adevărată.

● Teoria curenților de convecție ai mantalei

În ultimele decenii ale secolului al 20-lea, o anumită teorie a dominat prezentările geologiei islandeze. În forma sa modernă, ea este susținută de Tuzo Wilson de la Toronto și de Jason Morgan de la Princeton, principalii fondatori ai teoriei plăcilor tectonice, în anul 1960. Acțiunile geologice actuale au loc în mare parte la granițele dintre plăci, bucăți ale scoarței exterioare a Pământului care se mișcă încolo și înapoi, purtând cu ele continentele. Pentru a explica erupțiile vulcanice ce au loc în partea de mijloc a plăcilor, Wilson și Morgan au preferat teoria curenților de convecție ai mantalei.

Mantaua este principala componentă solidă a Pământului, situată între scoarța relativ subțire și nucleul de fier topit. Un curent de convecție al mantalei poate fi vizualizat ca o masă de roci care se înalță pe verticală către suprafața Pământului, ca printr-un horn îngust. Rocile din curent nu se topesc până când presiunea enormă din interiorul Pământului nu se reduce în apropierea suprafeței. Însă chiar și rocile solide se deplasează lent, iar cele mai încinse și prin urmare mai puțin dense decât rocile din jurul lor se vor înălța în mod inexorabil.

În versiunea clasică a teoriei, se afirmă că acești curenți se produc în interiorul sau în apropierea nucleului de fier lichid al Pământului, la 3 000 de kilometri adâncime față de suprafață. Aceasta înseamnă o adâncime de 10 ori mai mare decât adâncimea surselor de rocă fierbinte care realizează în mod normal lărgirea fundului oceanic în zonele dorsalelor medio-oceanice.

Se pare că acești curenți ai mantalei au efect independent de mișcările plăcilor. Într-adevăr, susținătorii lor afirmă că aceștia au un rol în deplasarea plăcilor. Și în timp ce plăcile de la suprafață împreună cu continentele pe care le poartă pot luneca oriunde în jurul Pământului, despre curenți se afirmă că sunt ancorați în manta. În acest context, Islanda a rezultat din alunecarea marginii plăcii din zona Dorsalei Medio-Atlantice pe deasupra unui curent fix al mantalei.

De cealaltă parte a lumii, locuitorii insulelor Hawaii povestesc cum Pele, zeița vulcanului, și-a purtat spada ei magică peste mare, spre sud-est, creând un lanț

de insule. În final, ea s-a stabilit în Kilauea, un vulcan activ din partea de sud-est a marii insule a arhipelagului hawaian. Activitatea vulcanică din vecinătatea regiunii Kilauea arată că Pele are încă furnicături în talpă.

Studiile geologice se potrivesc cu folclorul. Începând cu fostele insule din nord-vestul îndepărtat, din care majoritatea fac astăzi parte din lanțuri muntoase scufundate în adâncul oceanului, insulele din lanțul hawaian și-au făcut drum la suprafață una câte una. Conuri uriașe de lavă bazaltică au ieșit din fundul oceanic la intervale de aproximativ un milion de ani. Pe cea mai tânără dintre insule, Mauna Kea și Mauna Loa se înalță la 4 200 de metri deasupra nivelului mării și la 10 000 de metri deasupra fundului oceanic din jur. Insulele mai vechi create de Pele, inclusiv cea mai populată, Oahu, sunt în mod clar pe cale să dispară, așa cum s-a întâmplat cu lanțul muntos subacvatic.

În 1963, Tuzo Wilson a sugerat că fundul Oceanului Pacific alunecă în direcția nord-estică deasupra unui curent fix al mantalei. Pe când Jason Morgan a revenit la această idee, în 1971, Placa Pacificului fusese recunoscută drept una dintre părțile mobile ale scoarței Pământului, și insulele Hawaii erau încă principala probă. El a atras atenția că două lanțuri de insule și de munți subacvatici, Insulele Tuamotu și Insulele Australe, păreau să se fi format din cauza unor alte zone fierbinți. Morgan a numit 16 zone fierbinți din întreaga lume corespunzătoare unor curenți ai mantalei, inclusiv Islanda.

Nu toată lumea a fost de acord cu el. Dan McKenzie de la Cambridge, cofondatorul teoriei tectonicii plăcilor, a afirmat în acea perioadă că fenomenul hawaian poate fi explicat la fel de bine printr-o fisură a fundului oceanic. Cu toate acestea, ideea unor curenți de convecție ai mantalei având rădăcini adânci era foarte atrăgătoare și a prins, devenind subiect în manualele școlare. Pentru susținătorii teoriei, zonele fierbinți și curenții de convecție ai mantalei erau termeni aproape echivalenți.

● Cartografierea mișcării plăcilor

Specialiștii în științele Pământului sau geostiințe au început să considere că niciun vulcan nu implică existența unui curent al mantalei în dreptul marginii unei plăci, nici sub continente și nici sub oceane. Morgan a sugerat zona fierbinte a Parcului Yellowstone din Wyoming drept candidat pentru un curent al mantalei, și în curând au fost adăugate Etiopia, Kenya, Germania și multe alte regiuni continentale. Era luat în considerare aproape orice loc care nu se afla la marginea unei plăci și care apărea în reclamele turistice pentru izvoarele sale termale. Ca urmare, lista presupușilor curenți de convecție a crescut de la 16 la mai mult de 100.

Într-o lucrare de la începutul anilor 1980, Hans-Ulrich Schmincke de la Universitatea Ruhr din Bochum a numit curenții mantalei drept „unul dintre cele mai revoluționare și stimulative concepte din cadrul tectonicii plăcilor”. Dar a subliniat faptul că aceștia reprezentau doar o ipoteză. „Nu știm în acest moment

dacă parametrii geochimici și geofizici măsurați în zonele fierbinți indică în mod direct zone fierbinți bine definite sau sunt doar efectele unor cauze mai adânci a căror natură exactă și geometrie sunt încă necunoscute”.

Zonele fierbinți puteau fi luate drept puncte fixe de referință în definirea cu o mai mare exactitate a mișcărilor plăcilor. Măsurătorile extinderii fundului oceanic sau ale alunecărilor în lungul liniilor de falie determinau doar mișcările relative între plăci. Presupunând că zonele fierbinți erau fixate, se puteau asocia mișcările de suprafață ale plăcilor cu latitudini și longitudini ale corpului principal al interiorului Pământului.

Islanda era un exemplu elocvent. Dacă presupuneai că insulele Azore, insulele Capului Verde și insulele Tristan da Cunha din Atlantic fuseseră create de zone fierbinți fixe, geometria spunea că Atlanticul de Nord în creștere și teritoriul din jurul lui s-au deplasat în întregime înspre vest. Conform acestui calcul, curentul care ar fi fost observat în cele din urmă sub Dorsala Medio-Atlantică în Islanda se situase anterior sub Groenlanda.

● „Nu există niciun curent de convecție al mantalei sub Islanda”

Toate bune și frumoase, însă erau prea puține dovezi ale existenței curenților. În anii 1995–1996, geofizicienii islandezi, americani și britanici au luat parte la Proiectului Zonei Fierbinți Islanda (Iceland Hotspot Project), pentru a realiza o explorare aprofundată sub suprafața Pământului. Pe lângă cele șapte stații seismice din subordinea Oficiului Meteorologic al Islandei, ei au adăugat alți 35 de senzori auxiliari, dispuși pe toată suprafața insulei.

Oamenii de știință au căutat să detecteze diferențele ușoare dintre timpii de sosire ai undelor seismice de la mai mult de 100 de cutremure din întreaga lume la diferitele stații. Ei au putut atunci să aibă o imagine a rocilor fierbinți subterane care încetineau undele. Rețeaua era potrivită pentru investigarea până la o adâncime de aproximativ 450 de kilometri.

Deoarece fusese cercetător științific la Háskóli Íslands, Universitatea din Reykjavik, Gillian Foulger de la Durham cunoștea insula mai bine decât majoritatea geofizicienilor străini din echipă. După mai mulți ani în care a reflectat asupra rezultatelor seismice, ea a devenit complet sceptică în privința existenței curenților mantalei. Roca fierbinte era identificabilă în adâncime, așa cum te-ai aștepta dacă un horn s-ar adânci în pământ, însă ea considera că aceasta dispărea după aproximativ 400 de kilometri.

Forma platformei fierbinți de sub Islanda nu era în acord cu ce preconiza teoria curenților mantalei. Mai ales fundul oceanic nu părea să aibă nicio particularitate în direcția Groenlandei. Ceva ar fi trebuit să apară, în cazul în care curentul s-ar fi apropiat din acea parte a insulei, înainte să coincidă cu Dorsala Medio-Atlantică.

„Nu există niciun curent de convecție al mantalei sub Islanda”, a afirmat Foulger. „După părerea mea, motivul pentru care lava s-a adunat în așa mare măsură acolo

este că Dorsala Medio-Atlantică traversează o linie de falie foarte veche rămasă dintr-o coliziune a continentelor de acum 400 de milioane de ani”.

Imaginile seismice îmbunătățite ale interiorului Pământului ca întreg au alimentat scepticismul lui Foulger. Acestea erau obținute cu ajutorul metodelor din ce în ce mai elaborate și mai precise de urmărire a undelor seismice din întreaga lume. În anii 1990, o metodă de analiză computerizată denumită tomografie seismică genera imagini tridimensionale, însă destul de confuze, ale întregii mantale. Se distingeau regiuni relativ reci în care undele seismice se deplasau mai repede decât de obicei, și regiuni fierbinți în care deplasarea undelor era încetinită.

Trăsăturile ilustrate de imaginile tomografice includeau bucăți de scoarță dense, reci și vechi, provenite de la oceanele dispărute care s-au scufundat în interiorul Pământului, la o adâncime de aproximativ 1 500 de kilometri. Pe de altă parte, roca mai puțin densă dintr-un curent de convecție ar trebui să se distingă ca o coloană înaltă și îngustă de căldură. O sută de curenți cu rădăcina adâncă, sau chiar și numai primii 16 ai lui Jason Morgan, ar trebui să confere mantalei Pământului aparența unui arici de mare țepos.

Nu a fost așa. Curenții din teoria clasică nu erau vizibili în imaginile tomografice. Cu siguranță nu sub Islanda, a cărei platformă caldă putea fi observată coborând câteva sute de kilometri, însă fără nicio coloană caldă sub ea.

● De la curenți la supercurenți

Netulburați, teoreticienii curenților au considerat că regiunile calde erau dificil de observat cu metoda obișnuită de analiză a undelor seismice. Barbara Romanowicz și Yuancheng Gung de la UC Berkeley au dezvoltat o altă tehnică, ce lua în considerare intensitățile undelor, pentru a evidenția regiunile mai fierbinți decât în mod obișnuit din mantaua terestră. Nici imaginile lor nu au dezvăluit nimic în plus sub Islanda, însă au evidențiat doi supercurenți.

Localizați sub regiunea centrală a Oceanului Pacific și sub Africa, supercurenții sunt coloane înalte și groase de rocă fierbinte. După cum s-ar părea, aceștia preiau căldura direct din nucleul Pământului conducând-o către suprafață, însă în mantaua superioară supercurenții se ramifică precum degetele unei mâini, dând naștere unor zone fierbinți separate. În opinia geofizicienilor de la Berkeley, aceștia furnizează, de asemenea, material fierbinte dorsalelor medio-oceanice. „Majoritatea zonelor fierbinți derivă din două coloane principale”, au afirmat Romanowicz și Gung. „Excepție fac zonele fierbinți din America de Nord și probabil cele din Islanda”.

La începutul secolului al 21-lea, interiorul Pământului era încă înconjurat de mister. Ideea existenței mai multor curenți de convecție independenți, asemănători unor hornuri, în interiorul mantalei, părea să fi eșuat. Discuțiile continue cu privire la natura zonelor fierbinți și la rolul supercurenților făceau parte dintr-o dezbatere mai vastă despre modul în care plăcile și continentele se deplasează dintr-un loc în altul pe suprafață.

Miza este mai mare decât explicarea zonelor fierbinți actuale ale Pământului. În trecut, scurgerile uriașe de rocă topită din interiorul Pământului, numite inundații bazaltice, au format regiuni neobișnuite în mai multe părți ale lumii, printre care în Rusia Centrală, în India și în nord-vestul Statelor Unite. Teoreticienii curenților de convecție considerau inundațiile bazaltice drept primele consecințe ale unor noi curenți ai mantalei, provenind din nucleul Pământului, și care străpungeau scoarța. Dacă nu acesta este motivul, sunt absolut necesare alte explicații.

O nouă etapă a dezbaterii a început în anul 2002. Cei neîncrezători în curenții de convecție au sugerat că unele zone fierbinți sunt pur și simplu locuri în care scoarța este extrem de puternic tensionată, în timp ce altele coincid cu plăci vechi care au suferit un proces de subducție, și care au un punct de topire inferior celui al rocilor tipice ale mantalei. Gillian Foulger a făcut comentariul: „Se pare că, în adâncuri, zonele fierbinți nu sunt nici măcar fierbinți!”

- Pentru o dezbatere mai vastă, vezi **MIȘCĂRILE PLĂCILOR TECTONICE ȘI INUNDAȚIILE BAZALTICE**. Vulcanii de alt tip care erup în apropierea foselor oceanice sunt subiectul capitolului **EXPLOZII VULCANICE**.

SURSELE CITATELOR

Aceste surse sunt listate în ordinea apariției.

Introducere

Lehrer: din „Bright College Days”, în *More of Tom Lehrer*, Lehrer Records, 1959

Alcoolul

Consiliul științific: citat în biografia lui Eduard Buchner în *Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921*, Amsterdam: Elsevier, 1966

Benner: comunicare personală, 2002

Altruism și agresivitate

Kropotkin: P. Kropotkin, *Mutual Aid: A Factor of Evolution* (1902); retipărit la Londra: Allen & Unwin, 1984

Tajfel: în „The Human Conspiracy”, BBC-TV Nisbett/Calder, 1975

Wilson: E.O. Wilson, *Sociobiology*, Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1975

Alți teoreticieni evoluționiști: John Maynard Smith, citat de R. Dawkins, preluat de W. D. Hamilton, *Narrow Roads of Gene Land*, vol. 2, Oxford: Oxford University Press, 2001

Hamilton 1: *ibid.*

Hamilton 2: în W.D. Hamilton, *Narrow Roads of Gene Land*, vol. 1, Oxford: Oxford University Press, 1996

Trivers: în „The Human Conspiracy”, BBC-TV Nisbett/Calder, 1975

Shakespeare: Hamlet, în *Hamlet*, Act I, scena 5

Axelrod și Hamilton: R. Axelrod și W.D. Hamilton, *Science*, vol. 211, pp. 1390–6, 1981

Axelrod: comunicare personală, 2002

Collins: în „Cracking the Code of Life”, PBS/WGBH/NOVA TV Arledge/Cort, 17 aprilie 2001

Coordonatorul experimentului: în „Conspirația Umană”, BBC-TV Nisbett/Calder, 1975

McGuire: J. McGuire, *Cognitive-Behavioural Approaches*, Londra Home Office, iulie 2000

Amprenta ADN

Jeffreys: citat în buletinul de presă Australia Prize, Departamentul Industriei, Științei și Resurselor, Canberra, mai 1998

Linney: comunicare personală, 2002

Antimateria

Versurile lui Saharov: text autograph într-o republicare a lui A.D. Saharov, *JETP Letters*, vol. 5, pp. 24–7, 1967 (versiunea rusă); într-o fotografie emisă de Institutul American de Fizică

Autor de manuale: J.J. Sakurai, *Principles and Elementary Particles*, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1964

Fitch: Nobel Lecture, Stockholm, 8 decembrie 1980

Ellis: J. Ellis, *CERN Courier*, octombrie 1999

Quinn: cursuri la Universitatea Michigan, Ann Arbor, 24 mai 2001

Arabidopsis

Koornneef 1: citat de Martine Segers, *Green City Wageningen* (dosarele electronice ale Universității de Agricultură Wageningen), septembrie 1998

Echipa Arabidopsis, Inițiativa Genomului Arabidopsis: *Nature*, vol. 408, pp. 796–815, 2000

Koornneef 2: comunicare personală, 2002

Arborele vieții

Margulis și Sagan: L. Margulis și D. Sagan, *Microcosmos*, New York: Summit Books, 1986

Darwin: C. Darwin, *The Origin of Species*, Londra: Murray, 1859

Dickerson: R.E. Dickerson, *Scientific American*, aprilie 1972

Woese: C. Woese, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 95, pp. 6854–9, 1998

Doolittle: W.E. Doolittle, *Science*, vol. 284, p. 2124, 1999

Kurland: C.G. Kurland, *EMBO Reports*, vol. 1, pp. 92–5, 2000

Doolittle și echipa: J.O. Andersson *et al.*, *Science*, vol. 292, pp. 1848–50, 2001

Armele nucleare

Wheeler: J.A. Wheeler și Kenneth Ford, *Geons, Black Holes, and Quantum Foam*, New York: Norton, 1998

Pincher: Chapman Pincher, scrisoare în *Daily Telegraph* (Londra), 17 iunie 2002

Saharov: A. Saharov, *Memoirs*, New York: Knopf, 1990

Manifestul Russell-Einstein: textul în Rotblat, *Scientists in the Quest for Peace*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1972

Rotblat: J. Rotblat, „Science and Humanity in the Twenty-First Century”, articol pentru Fundația Nobel, Stockholm, 1999

Gusterson: citată de Claudia Dreifus, *New York Times*, 21 mai 2002

Erickson: citată în N. Calder, *Nuclear Nightmares*, Londra: BBC Publications, 1979

Fizician rus: Sergei Kapitza, comunicare personală, 1988

Teller: în Edward Teller și Judith L. Shoolery, *Memoirs*, Cambridge, Mass.: Perseus Publishing, 2001

Astronautica

Kyle: D. Kyle, *A Pictorial History of Science Fiction*, Londra: Hamlyn, 1976

Spiegelman: în „Spaceships of the Mind”, BBC-TV Gilling/Calder, 1978

O'Neill: în *ibid.*

Ivanova: T. Ivanova, *21st Century Science and Technology*, vol. 15, nr. 2, pp. 41–9, 2002

Bradbury: citat în Oriana Fallaci, *If the Sun Dies*, trad. P. Swinglehurst, New York: Atheneum, 1966

Bacteriile extremofile

Corliss: citat în V.A. Kaharl, *Water Baby*, New York: Oxford University Press, 1990

Ballard: interviu cu Douglas Colligan, *Omni*, 1998

Hempel: în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology 1990

Taylor: citat de John Whitfield, *Nature Science Update*, 17 ianuarie 2002

Gold: T. Gold, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 89, pp. 6045–9, 1992

Newman și Banfield: D.K. Newman și J.F. Banfield, *Science*, vol. 296, pp. 1071–7, 2002

Wharton: în D.A. Wharton, *Life at the Limit*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002

Big Bang

Adams: introducere la J.S. Bach, *Brandenburg Concertos 1-A*, interpretat de Orchestra de Cameră Britanică, dirijor Benjamin Brittain, Penguin Music Classics, 1999

Lemaître: citat de M. Rees în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Weinberg: în „The Key to the Universe”, BBC-TV Nisbett/Calder, 1977

Linde 1: discurs cu ocazia celei de-a 60-a conferințe aniversare a lui Stephen Hawking, Cambridge, ianuarie 2002

Linde 2: A. Linde, *Scientific American*, pp. 48–55, noiembrie 1994

Francis: discurs despre Universul Timpuriu, Universitatea Națională din Australia, Canberra, 2001

Linde 3 și 4: comunicare personală, 2002

Guth: în „Parallel Universes”, BBC-TV Malcolm Clark, 2002

Biodiversitatea

Orwell: George Orwell, *Animal Farm*, Londra: Seeker & Warburg, 1945

Mellanby: K. Mellanby în N. Calder, ed., *Nature in the Round*, Londra: Weidenfeld & Nicolson, 1973

May: R.M. May, *Science*, vol. 241, pp. 1441–9, 1988

Lugo: citat de Charles C. Mann, *Science*, vol. 253, pp. 736–8, 1991

Manokaran: referat în cadrul Congresului Internațional al Uniunii Organizațiilor de Cercetare a Pădurii, 6-12 august 1995

Hubbell: citat de Steven Schultz, *Princeton Weekly Bulletin*, 22 februarie 1999

Bell: G. Bell, *Science*, vol. 293, pp. 2413–18, 2001

Connell: J.H. Connell, *Science*, vol. 199, p. 1302, 1978

Molino și Sabatier: J.-F. Molino și D. Sabatier, *Science*, vol. 294, pp. 1702–4, 2001

Molino: comunicare personală, 2002

Uniunea Europeană: comunicat de presă, Brussels, 24 noiembrie 1999

Grime: J.P. Grime, *Journal of Vegetation Science*, vol. 13, pp. 709–12, 2002

SURSELE CITATELOR

Biosfera din spațiu

Tucker: citat în N. Calder, *Spaceship Earth*, Londra: Viking, 1991

Sellers: ibid.

Zhou: citat într-un comunicat de presă al Uniunii Americane de Geofizică, 4 septembrie 2001

Hardy: A.C. Hardy, *The Open Sea: The World of Plankton*, Londra: Collins, 1956

Behrenfeld: comunicare personală, 2002

Biți și qubiți

Soția lui Shannon, Betty: citată de M. Mitchell Waldrop, *Technology Review*, iulie/august 2001

Shannon 1: C.E. Shannon, „A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits”, dizertație pentru Master, MIT, 1938

Shannon 2: A.C. Shannon, *Bell System Technical Journal*, iulie și octombrie 1948

Steane: A. Steane, *Nature*, vol. 422, pp. 387–8, 2003

Deutsch: intervievat de Filiz Peach, *Philosophy Now*, 30 decembrie 2000

Bolile plantelor

Wilde: „The Famine Year”, publicat inițial ca „The Stricken Land”, în *The Nation*, 23 ianuarie 1847, citat în P.J. Kavanagh, *Voices in Ireland*, Londra: Murray, 1994

Regina de Cupă: în Lewis Carroll, *Through the Looking-Glass* (1871); retipărit în R.L. Green, ed., *Alice's Adventures in Wonderland și Through the Looking-Glass*, Oxford: Oxford Paperbacks, 1998

Dawkins: R. Dawkins, *The Blind Watchmaker*, Harlow: Longman, 1986

Bergelson: citat în *Quarks and Bits*, 12 august 1999

Bosonii Higgs

Harvard host: Sidney Coleman, citat de P. Higgs în L. Hoddeson *et al.*, eds., *The Rise of the Standard Model*, Cambridge: Cambridge University Press, 1996

Higgs 1: ibid.

Higgs 2: citat de Alison Daniels la Universitatea din Edinburgh, *Edit*, numărul 7, iarna 1994–95

Miller: citat în *Physics World*, vol. 6, no. 9, pp. 26–8, 1993

Lederman: L. Lederman, *The God Particle*, Boston: Houghton Mifflin, 1993

Rubbia: C. Rubbia în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Comunicat de presă: CERN, Geneva, 16 decembrie 1994

Womersley: Stanford Linear Accelerator Center, *SLAC Beam Line*, vol. 31, no. 1, pp. 13–20, 2001

Higgs 3: citat de Alison Daniels la Universitatea din Edinburgh, *Edit*, numărul 7, iarna 1994–95

Călătorii cu viteza luminii

De Broglie: citat de Frank Pellegrini, *Time.com*, articol despre Einstein, 2000

Kaye: „Pătratul Ipotenuzei”, versuri de Johnny Mercer și muzică de Saul Chaplin, în *Merry Andrew*, MGM, 1958

Einstein: remarcă (1911) citată în A. Kopff, *The Mathematical Theory of Relativity*, Londra: Methuen, 1923

Keating: în „Time Travel”, PBS/WGBH/NOVA TV, Peter Tyson, 1999

Hafele și Keating: J.C. Hafele și R.E. Keating, *Science*, vol. 177, pp. 166–7, 1972

Brecher: comunicare personală, 2002

Ceasurile biologice

Djerrasi: citat de Krishnan Rajeshwar și Walter van Schalkwijk, Societatea Electrochimică, *Interface*, toamna 2000

Takahashi și Reppert: citat de Karen Young Kreeger, *The Scientist*, 15 aprilie 2002

Nagy și Gwinner: comunicare personală, 2002

Celulele stem

Stevens: citat de Ricki Lewis, *The Scientist*, vol. 14, p. 19, 2000

Thomson și echipa: J.A. Thomson *et al.*, *Science*, vol. 282, pp. 1145–7, 1998

Solter: D. Solter, *Croatian Medical Journal*, vol. 40, no. 3, 1999

Verfaillie și echipa: Y. Jiang *et al.*, *Nature*, vol. 418, pp. 41–9, 2002

Cerealele

Proverb chinez: citat în *The Economist*, 9 martie 1991

Ehrlich: P.R. Ehrlich, *The Population Bomb*, New York: Ballantine, 1968

Borlaug 1: citat de Aase Lionaes, prezentarea Premiului Nobel pentru Pace, Oslo, 1970

Khush: citat în *Annual Report 2000-2001*, Institutul Internațional de Cercetare a Orezului, Manila, 2001

Zhu și echipa: Y. Zhu *et al.*, *Nature*, vol. 406, pp. 718–22, 2000

Borlaug 2: Discurs, Institutul Norvegian Nobel, 8 septembrie 2000

Gale: la conferința de la Fundația Rockefeller a Biotehnologiei Orezului, Tucson, 1991

Leung: citat în *Annual Report 2000-2001*, Institutul Internațional de Cercetare a Orezului, Manila, 2001

Chiralitatea

Biot: citat în R. Dubos, *Pasteur and Modern Science*, New York: Anchor, 1960

Noyori: comunicare personală, 2002

Pasteur: citat în M. Gardner, *The Ambidextrous Universe*, New York: Basic Books, 1964

Feynman: citat în N. Calder, *The Key to the Universe*, Londra: BBC Publications, 1977

Inoue: Descrierea proiectului, Proiectul Fotochirogenezei Inoue, ERATO (Cercetarea Exploratoare a Tehnologiei Avansate, Japonia Corporația de Știință și Tehnologie), 2001

Kuroda: Descrierea proiectului, Proiectul Fotochirogenezei Kuroda, ERATO (Cercetarea Exploratoare a Tehnologiei Avansate, Japonia Corporația de Știință și Tehnologie), 2001

Ciclul carbonului

Revelle și Suess: R. Revelle și H.E. Suess, *Tellus*, vol. 9, pp. 18–27, 1957

SURSELE CITATELOR

Keeling: C.D. Keeling, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 94, pp. 8273–4, 1997

Lorius: citat într-un comunicat de presă al Centrului Național de Cercetare Științifică, Paris, 3 decembrie 2002

Wilson: comunicare personală, 1999

Wagner: comunicare personală, 1999

Oameni de știință importanți: A. Indermuhle *et al.*, *Science*, vol. 286, p. 1815a, 1999

Comitetul Interguvernamental al Schimbărilor Climatice: J.T. Houghton *et al.*, eds., *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge: Cambridge University Press, 2001

Ciclul celular

Weinert: citat de Michael Baiter și Gretchen Vogel, *Science*, vol. 294, pp. 502–3, 2001

Masui: citat de Stephen Strauss, *University of Toronto Magazine*, toamna 1999

Nurse: citat de Tim Radford, *Guardian* (Londra), 9 octombrie 2001

Scholey: comunicare personală, 2002

Clonarea

Oamenii de știință de la Roslin: comunicat de presă, Institutul Roslin, 25 februarie 1997

Wilmot: BBC News Online, 26 noiembrie 2001

Aldous Huxley: „Fifth Philosopher’s Song” (1920) citat de Susan Squire în *Research/Penn State*, septembrie, 1996

Maynard Smith: J. Maynard Smith, *Games, Sex and Evolution*, Brighton: Harvester-Wheatsheaf, 1988

Hamilton: W.D. Hamilton, *Narrow Roads of Gene Land*, vol. 2, Oxford: Oxford University Press, 2001

Margulis: L. Margulis și D. Sagan, *What is Life?* New York: Simon & Schuster, 1995

Cometele și asteroizii

Whipple: în „The Comet is Coming!”, BBC-TV, Freeth/Calder, 1981

Newton: I. Newton, *Principia* (1687 și 1713), trad. A. Motte (1729); ediție revizuită de F. Cajori: University of California Press, Berkeley: 1934

Keller: comunicare personală, 1990

Yeomans: D.K. Yeomans, *Nature*, vol. 404, pp. 829–32, 2000

Stern: citat în comunicatul de presă de la Institutul de Cercetări Southwest, 11 august 2000

Marsden: comunicare personală, 2000

Balsiger: comunicare personală, 2001

Shoemaker: în „Spaceships of the Mind”, BBC-TV Gilling/Calder, 1978

Carusi: comunicare personală, 2001

Comportamentul primatelor

Oakley: K.P. Oakley, *Man the Tool-Maker*, ediția a 5-a, Londra: Muzeul Britanic (Istorie Naturală), 1963

Zuckerman: S. Zuckerman, *The Realist*, vol. 1, pp. 72–88, 1929, citat în S. Zuckerman, *From Apes to Warlords*, Londra: Hamish Hamilton, 1978

Itani: citat de F. de Waal, *New Scientist*, pp. 46–9, 13 decembrie 2001

F. de Waal: *ibid.*

Goodall: J. van Lawick-Goodall, *In the Shadow of Man*, Londra: Collins, 1971

Whiten: A. Whiten *et al.*, *Nature*, vol. 399, pp. 682–5, 1999

Matsuzawa: „Essay on Evolutionary Neighbors”, pagina de internet a lui Ai, Institutul de Cercetare a Primatelor, Kyoto, 1998 <<http://www.pri.kyoto-u.ac.jp/ai/index-E.htm>>

Conexiunea cuantică

Fizician suedez: C.W. Oseen, discursul de prezentare la decernarea Premiilor Nobel, Stockholm, 1929

De Broglie 1: interviu 1963, citat de J.J. O'Connor și E.F. Robertson, site-ul web al Universității St Andrews pentru istoria matematicii, <<http://www-groups.dcs.st-andrews.ac.uk/history/Mathematicians/Broglie.html>>, mai 2001

Heisenberg: Discurs Nobel, Stockholm, 11 decembrie 1933

Wells: citat în N. Calder, *The Key to the Universe*, Londra: BBC Publications, 1977

Rabi: citat de Gerald Edelman, *Bright Air, Brilliant Fire: On the Matter of the Mind*, New York: Penguin, 1992

Feynman: R.P. Feynman, *QED: The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1985

De Broglie 2: *Etude critique des bases de l'interprétation actuelle de la mécanique ondulatoire*, Paris: Gauthier-Villars, 1963

Einstein și Bohr, citat în N. Calder, *Einstein's Universe*, Londra: BBC Publications, 1979

Einstein: scrisoare adresată lui Max Born, 1947, în M. Born și A. Einstein, *The Born-Einstein Letters*, Londra: Macmillan, 1971

Einstein, Podolsky și Rosen: A. Einstein *et al.*, *Physical Review*, vol. 41, p. 777, 1935

Gisin: citat de Malcolm W Browne, *New York Times*, 22 iulie 1997

Ekert: citat de Ivan Semeniuk, *New Scientist*, 9 martie 2002, pp. 27–30

Conexiuni cerebrale

Cajal: S. Ramón y Cajal, *Recollections of My Life*, trad. E. Home Craigie și Juan Cano, Philadelphia: Societatea Americană a Filozofilor, 1937, antologiată în John Carey, ed., *The Faber Book of Science*, Londra: Faber, 1995

Wiesel: T.N. Wiesel, Discurs Nobel, Stockholm, 8 decembrie 1981

Rakic: citat de Kaplan, recitat de Specter, *The New Yorker*, 23 iulie 2001

Theodosius: comunicare personală, 2002

Continente și supercontinente

Sengor 1: A. Berthelsen și A.M.C. Sengor în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Sengor 2: discurs în cadrul Cercetării Geologice din Canada, Ottawa, 11 februarie 1998

Scotese: „History of the Atlas”, 1998, în <<http://www.scotese.com>>

Guterch: comunicare personală, 2002

Criosfera

- Holmes: în A. Holmes, *Principles of Physical Geology*, Londra: Nelson, 1965
Denton: comunicare personală, 1974
Wingham: comunicare personală, 1999
Joughin și Tulaczyk: I. Joughin și S. Tulaczyk, *Science*, vol. 295, pp. 476–80, 2002
Lemke: comunicare personală, 2001
Haeberli: comunicare personală, 2002

Cristale de plasmă

- Blake: „The Chimney-Sweeper”, în *Songs of Innocence and Experience*, 1794
Morfill: comunicare personală, 2001
Bingham: comunicare personală, 2000
Tsytovich: comunicare personală, 2000

Culturile transgenice

- Van Montagu: M. Van Montagu în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990
Arber: W Arber în *ibid.*
Bergelson și echipa: J. Bergelson *et al.*, *Nature*, vol. 395, p. 25, 1998
Editorial: *Nature Biotechnology*, vol. 20, p. 527, 2002
Baltimore: citat de Marcia Barrinaga, *Science*, vol. 287, pp. 1584–5, 2000
Asscher: citat de Maxine Frith și Eileen Murphy, *PA News*, 17 mai 1999
Verfaillie: citat de Virginia Baldwin Gilbert, *St Louis Post-Dispatch*, 12 mai 2002
Borlaug: Discurs, Institutul Norvegian Nobel, Oslo, 8 septembrie 2000

Curenții oceanici

- Căpitanul navei Nantucket către Franklin: citat în J.E. Pillsbury, *The Gulf Stream*, Washington DC: Government Printing Office, 1891
Rogachev: citat într-un comunicat de presă, Informnauka, Russia, 19 februarie 2002
Munk: discurs în cadrul Asociației Internaționale a Meteorologiei și Științelor Atmosferice/Asociația Internațională pentru Științele Fizice ale Oceanologiei, Melbourne, iulie 1997
Broecker: seminarul Programului American de Cercetare a Schimbărilor Globale, Washington DC, 24 ianuarie 1996
Gould: comunicare personală, 2002
Balmino: comunicare personală, 2001
Wunsch: C. Wunsch, *Nature*, vol. 405, pp. 743–4, 2000

Cutremurele

- Kanamori: adaptat din H. Kanamori *et al.*, *Nature*, vol. 390, pp. 461–4, 1997
MacDonald: G.J.F. MacDonald în N. Calder, ed., *Unless Peace Comes*, Londra: Allen Lane, 1968

Dobson: citat într-un comunicat de presă al Colegiului Universitar din Londra, 15 noiembrie 2002

Hanssen: comunicare personală, 2002

Descoperirile

Freeman: discurs la Institutul Sydney, Sydney, Australia, 9 iulie 1996 Thomas: citat de V Fitch, Discurs Nobel, Stockholm, 1980

Feynman: în „The Mind of Man”, BBC-TV Daly/Calder, 1970

Ketterle: citat în science@nasa.gov, 20 martie 2002

Huxley: T.H. Huxley, *Collected Essays*, vol. IX: *Evolution and Ethics, and Other Essays*, Bristol: Thoemmes Press, 2001

Feyerabend: P.K. Feyerabend, *Against Method*, Atlantic Highlands, New Jersey: Humanities Press, 1975

Kuhn: T.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago: University of Chicago Press, 1962

Weinberg: S. Weinberg, *Dreams of a Final Theory*, New York: Vintage, 1992

Smith: discurs în cadrul Observatorului Regal de la Greenwich, Herstmonceux, 1988

Lovelock: John Preedy Discurs Memorial, Cardiff, 22 septembrie, 1989 Prusiner: Autobiografie, buletin de știri, Fundația Nobel, Stockholm, 1997

Lindquist: citat de David Cameron, *Technology Review*, 8 februarie 2002

Churchill: citat de J.C. Polanyi, *United Nations Chronicle*, vol. 25, no. 4, 1998

Ryle: scrisoare adresată lui C. Chagas, 24 februarie 1983, citat de A. Rudolf și M. Rowan-Robinson, *New Scientist*, 14 februarie 1985

Dinozaurii

Xu: comunicare personală, 2002

Sereno: P.C. Sereno, *Science*, vol. 284, pp. 2137–47, 1999

Ecologia umană

Rivera: conversație în La Paz, 1989

Kolata: în „Living on Earth”, Radio Public National (USA), 28 august 1992

Cox și Elmqvist: P.A. Cox și T. Elmqvist, *Ambio*, vol. 26, no. 2, pp. 84–9, 1997

Fa: citat într-un comunicat de presă al Consiliului de Cercetare a Mediului Natural, Marea Britanie, 10 aprilie 2002

Malthus: T. Malthus, *An Essay on the Principle of Population*, Londra: Johnson, 1798 (inițial publicat sub anonim)

Eckholm: E. Eckholm, *Down to Earth*, Londra: Pluto Press, 1982

Calder: în R. Calder, ed., *The Future of a Troubled World*, Londra: Heinemann, 1983

Elementele chimice

Levi: *The Periodic Table*, trad. R. Rosenthal, Londra: Penguin Modern Classics, 2001

Pilachowski: citat într-un comunicat de presă al Observatorului Astronomic Național al Statelor Unite, 14 noiembrie 2000

Fowler: Autobiografie, buletin de știri, Fundația Nobel, Stockholm, 1983

SURSELE CITATELOR

Hoyle: F. Hoyle, *Astronomy and Cosmology*, New York: Freeman, 1975

Zinner: comunicare personală, 2002

Calendar computerizat: citat în J. Needham, *Science and Civilisation in China*, vol. 3
Cambridge: Cambridge University Press, 1959

Tycho: în *De Nova Stella* (1573), tradus în *A Treasury of World Science*, New York:
Philosophical Library, 1962

Schonfelder: citat în N. Calder, *Beyond this World*, Noordwijk: Agenția Spațială
Europeană BR-112, 1995

Aschenbach: comunicare personală, 2002

Pagel: comunicare personală, 2002

El Niño

Trenberth, de asemenea Nierenberg: citat de Judith Perera, Inter Press Service, 26 decem-
brie 1998

Correge: comunicat de presă al Institutului de Cercetare pentru Dezvoltare, Paris, 27 mar-
tie 2002

Landsea: citat de R.A. Kerr, *Science*, vol. 290, pp. 257–8, 2000

Embrionii

Thomas: „On Embryology”, în *The Medusa and the Snail*, New York: Viking, 1979

Nüsslein-Volhard: Autobiografie, buletin de știri, Fundația Nobel, Stockholm, 1995

Britten de asemenea Davidson: în „The Life Game”, BBC-TV, Malone/Calder, 1973

Satoh: citat de Dennis Dormile, *Science*, vol. 293, pp. 788–9, 2001

Pourquié: comunicare personală, 2002

Energia neagră

Nørgaard-Nielsen: comunicare personală, 2002

Schmidt și Kolb: citat de James Glantz, *Science*, vol. 279, pp. 1298–9, 1998

Turner: citat de Kathy Sawyer, *Washington Post*, 3 aprilie 2001

Efstathiou: citat de Andrew Watson, *Science*, vol. 295, p. 2341, 2002

Einstein: în M. Born, *The Born-Einstein Letters*, Londra: Macmillan, 1971

Ferreira: în *CERN Courier*, vol. 39, no. 5, pp. 13–15, 1999

Clarke: citat în cadrul Field Propulsion Workshop, Universitatea Sussex, ianuarie 2001

Energia și masa

Gauthier-Lafaye: comunicare personală, 2002

Sargent: în „Einstein's Univers”, BBC-TV/WGBH, Freeth/Calder, 1979

Richter: în B. Maglich, ed., *Adventures in Experimental Physics, Epsilon Volume*,
Princeton, N.J.: World Science Education, 1976

Wheeler: în „Einstein's Univers”, BBC-TV/WGBH, Freeth/Calder, 1979

Einstein: A. Einstein, *Annalen der Physik*, vol. 18, p. 639, 1905

Enzimele globale

Cloud: P. Cloud, *Science*, vol. 160, pp. 729–36, 1968

Kirschvink: comunicare personală, 2002

Lovelock: J. Lovelock, *Gaia: A New Look at Life on Earth*, Oxford: Oxford University Press, 1979

Benner și echipa: S.A. Benner *et al.*, *Science*, vol. 296, pp. 864–8, 2002

Evoluția

Jacob 1: *The Possible and the Actual*, New York: Pantheon, 1982

Darwin 1: C. Darwin, *The Origin of Species*, ediția a 6-a, Londra: Murray, 1872

Lewontin: „The Life Game”, BBC-TV Malone/Calder, 1973

Campbell: J.H. Campbell în B.J. Depew și B.H. Weber, eds., *Evolution at the Crossroads*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1985

Linnaeus: citat în E. Coen, *The Art of Genes*, Oxford: Oxford University Press, 1999

Coen: citat într-un comunicat de presă al Centrului John Innes, 8 septembrie 1999

Dawkins: citat de Thomas Sutcliffe, *Independent* (London), 5 iulie 2001

Lindquist: S. Lindquist: *Nature*, vol. 408, pp. 17–18, 2000

Jacob 2: *La Logique du Vivant*, Paris: Gallimard, 1970; trad. B.E. Spillmann, *The Logic of Life*, New York: Pantheon, 1973

Student: Jonny Firstrow în buletinul video de știri, Channel 447 WFLY, noiembrie 1998

Evoluția ecologică

Darwin: C. Darwin, *The Origin of Species*, Londra: Murray, 1859

Norberg și echipa: J. Norberg *et al.*, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 98, pp. 11376–81, 2001

Rainey și Travisano: P.B. Rainey și M. Travisano, *Nature*, vol. 394, pp. 69–72, 1998

Bell: comunicare personală, 2002

Martin și Salamini: *EMBO Reports*, vol. 1, pp. 208–10, 2000

Evoluția moleculelor

Kimura 1: în „The Life Game”, BBC-TV, Malone/Calder, 1973

Kimura 2: M. Kimura, *The Neutral Theory of Molecular Evolution*, Cambridge: Cambridge University Press, 1983

Gould: S.J. Gould în *The New York Review of Books*, 12 iunie 1997

Reporter: Nigel Calder (1973), citat în Kimura 2, *loc. cit.*

Ohno: la Simpozionul Internațional despre Rețelele și Evoluția Informațiilor Moleculare, Tokyo, 20–22 aprilie 1996

Mewes și echipa: H.W. Mewes *et al.*, *Nature*, Suplimentul Yeast Genome, 29 mai 1997

Ohta 1: T. Ohta, *Theoretical Population Biology*, vol. 23, pp. 216–40, 1984

Ohta 2: T. Ohta, *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, vol. 23, pp. 263–86, 1992

Explozia cambriană

Gould: S.J. Gould, *Wonderful Life*, New York: Norton, 1989

Conway Morris: S. Conway Morris, *Geology Today*, pp. 88–92, mai-iunie 1987

Hou: citat de Richard Monastersky, *Discover*, aprilie 1993

Collins: comunicare personală, 2002

Valentin și echipa: J.W. Valentine, D. Jablonski și D.H. Erwin, *Development*, vol. 126, pp. 851-9, 1999

Exploziile de raze gama

Galama: în „Death Star”, Canalul TV 4 David Singleton/David McNab, 2001

Heise: comunicare personală, 1999

Reeves: citat într-un comunicat de presă al Consiliului de Cercetare Astronomică și Fizica Particulelor din Marea Britanie, 4 aprilie 2002

Giménez: comunicare personală, 2001

Exploziile stelare

Borges: „The Circular Ruins”, trad. J.E. Irby, în J.L. Borges, *Labyrinths*, New York: New Directions, 1964

Genzel: citat în N. Calder, compilație, *Success Story*, Noordwijk: Agenția Spațială Europeană BR-147, 1999

Cesarsky: citat într-un comunicat de presă al Agenției Spațiale Europene, 7 aprilie 1998

Cimatti: comunicare personală, 2001

Rowan-Robinson: comunicare personală, 2001

Exploziile vulcanice

Calder: Simon Calder, *Independent* (Londra), 31 ianuarie 1999

Euripides: în *The Hippolytus*, 428 î.Hr., în Gilbert Murray, *Euripides: Collected Plays*, Londra: Allen & Unwin, 1954

Pfeiffer: la seminarul Comisiei Europene Seismologice, Santorini, 21-26 septembrie 1999

Hammer: comunicare personală, 2002

Miller: comunicare personală, 2002

Extincțiile

Darwin: C. Darwin, *The Origin of Species*, ediția a 6-a, Londra: Murray, 1872

Gould: în D.M. Raup, *Extinction: Bad Genes or Bad Luck*, New York: Norton, 1991, introducere © Stephen Jay Gould, 1991

Lyell: *Principles of Geology* (1830-33), retipărit la Chicago: University of Chicago Press, 1990

Bakker: citat de M.W. Browne, *New York Times*, 29 octombrie 1985

Halley: discurs în cadrul Royal Society din Londra, 1694

Thurber: J. Thurber, *My World and Welcome to It*, New York: Harcourt, Brace, 1942

Raup: în D.M. Raup, *Extinction: Bad Genes or Bad Luck*, New York: Norton, 1991

Familii de particule

Yukawa: citat în G. Fraser, E. Lillestøl și I. Sellevag, *The Search for Infinity*, Londra: Mitchell Beazley, 1994

Fermi: remarcă adresată lui Leon Lederman; comunicare personală a lui Lederman, 1976

Gell-Mann: în „The Key to the Universe”, BBC-TV Nisbett/Calder, 1977

Politzer: în *ibid.*

Fritzsch: H. Fritzsch, în *Quarks: Urstoff unserer Welt*, Munich: R. Piper, 1981; tradus (împreună cu M. Roloff) ca *Quarks: The Stuff of Matter*, New York: Basic Books, 1983

Glashow: comunicare personală, 1976

Richter: în B. Maglich, ed., *Adventures in Experimental Physics, Epsilon Volume*, Princeton, N.J.: World Science Education, 1976

Llewellyn Smith: C. Llewellyn Smith, *CERN Courier*, vol. 38, no. 8, pp. 33–4, 1998

Feynman: comunicare personală, 1976

Fenomene glaciare

Heinrich 1: comunicare personală, 2002

Bond: citat în *Columbia University Record*, 24 februarie 1995

Van Geel: comunicare personală, 1997

Bond și echipa: G. Bond *et al.*, *Science*, vol. 278, pp. 1257–66, 1997

Echipa lui Bond: G. Bond *et al.*, *Science*, vol. 294, pp. 2130–6, 2001

Heinrich 2: comunicare personală, 2002

Fondul de microunde

Penzias: în „The Violent Universe”, BBC-TV Daly/Calder, 1968

Dicke: D.T. Wilkinson, comunicare personală, 1967

Mather, Smoot și Hawking: citați în Gordon Fraser *et al.*, *The Search for Infinity*, Londra: Mitchell Beazley, 1994

De Bernadis: citat într-un comunicat de presă al Fundației Naționale de Știință, 26 aprilie 2000

Carlstrom: citat într-un comunicat de presă al Universității din Chicago, 29 aprilie 2001

Kovac: citat într-un comunicat de presă al Universității din Chicago, 19 septembrie 2002

Puget: comunicare personală, 2001

Formarea proteinelor

Narator: Frank Bough în „The Life Game”, BBC-TV; Malone/Calder, 1973

De Duve: C. de Duve, *A Guided Tour of the Living Cell*, New York: Scientific American Books, 1984

Yonath: citat de Elizabeth Pennisi, *Science*, vol. 285, pp. 2048–51, 1999

Ramakrishnan: citat de Kristin Leutwyler, *Scientific American Explore*, 7 mai 2001

Noller: citat de Kristin Leutwyler, *Scientific American Explore*, 27 noiembrie 1999

Formele proteinelor

Schneider: comunicare personală, 2000

Hajdu 1: comunicare personală, 2002

Chu: citat de Steve Bunk, *The Scientist*, 26 octombrie 1998

Fersht: în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Hajdu 2: TESLA Colloquium, Hamburg, 24 martie 2001

Forța electrolabă

Salam și Reporter: citat de N. Calder, în A.M. Hamende, ed., *Tribute to Abdus Salam*, Trieste: Centrul Internațional pentru Fizică Teoretică Abdus Salam, 1999

Salam și Mosque: în „The Key to the Universe”, BBC-TV, Nisbett/Calder, 1977

't Hooft 1: în *ibid.*

't Hooft 2: comunicare personală, 2002

Musset: citat de Gordon Fraser în *CERN Courier*, vol. 38, no. 8, p. 30, 1998

Rubbia: în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Fotosinteza

Boltzmann: „Der zweite Hauptsatz der mechanischen Warmetheorie”(1886), citat de R. Huber în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Halley: citat de A. Armitage în Edmond Halley, Londra: Nelson, 1966

Huber: în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Barber: comunicare personală, 2002

Saenger: comunicare personală, 2002

Ciamician: G. Ciamician, *Science*, vol. 36, p. 385, 1912

Fullerene și nanotuburi

Fuller: „Prime Design”, 1960, retipărit de James Meller, ed., *The Buckminster Fuller Reader*, Londra: Cape, 1970

Smalley 1: în „Molecules With Sunglasses”, BBC Horizon, John Lynch, 9 decembrie 1996

Dirac: *Scientific American*, mai 1963

Smalley 2: Discurs Nobel, Stockholm, 1996

Krätschmer: comunicare personală, 2002

Iijima: discurs la Institutul Regal, Londra, 1997

Dekker: comunicare personală, 2002

Welland: citat în comunicatul de presă al Departamentului de Inginerie din cadrul Universității Cambridge, 27 aprilie 2001

Feynman: discurs în cadrul Societății Americane de Fizică, 29 decembrie 1959

Davydov: comunicare personală, 2002

Kroto: discurs în cadrul cercetării Schlumberger-Doll, Ridgefield, Connecticut, 15 octombrie 1998

Cântecul lui Aragorn: J.R.R. Tolkien, *The Lord of the Rings*, Londra: Allen & Unwin, 1954

Galaxiile

Ai Guoxiang: comunicare personală, 2002

Strom: R. Strom, „A New Large Aperture Radio Telescope”, broșură, 1997

Helmi: comunicare personală, 2002

Găurile negre

Stevenson: R.L. Stevenson, *In the South Seas* (1896); retipărit la Londra: Penguin, ed. N. Rennie, 1998

Schmidt: în „The Violent Universe”, BBC-TV Daly/Calder, 1968

Hong-yee Chiu: W. Priester, comunicare personală, 2000

Rees: M. Rees în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Graham: citat într-un comunicat de presă al Institutului de Astrofizică de la Canarias, 23 noiembrie 2001

Pounds: comunicare personală, 2000

Tanaka: comunicare personală, 2002

Sako: comunicare personală, 2002

Schödel: citat într-un comunicat de presă al Observatorului European de Sud, 16 octombrie 2002

Gebhart: citat într-un comunicat de presă al Institutului Științific al Telescoapelor Spațiale, 17 septembrie 2002

Cash și echipa: W. Cash *et al.*, *Nature*, vol. 407, pp. 160–3, 2000

Valtaoja: comunicare personală, 2002

Genele

Perutz: *Daily Telegraph* (Londra), 27 aprilie 1987

Watson și Crick: J.D. Watson și F.H. Crick, *Nature*, vol. 171, pp. 737–8, 1953

Monod: Discurs Nobel, Stockholm, 11 decembrie 1965

Director: Alan Robertson, comunicare personală, 1958

Mullis: Autobiografie, buletin de știri, Fundația Nobel, Stockholm, 1993

Sanger: BBC Sci/Tech News Online, 26 iunie 2000

Haldane: J.B.S. Haldane, *Heredity and Politics*, Londra: Allen & Unwin, 1938

Pääbo: S. Pääbo, *Science*, vol. 291, pp. 1219–20, 2001

Gene preistorice

Cavalli-Sforza: în „The Life Game”, BBC-TV Malone/Calder, 1973

Piazza: în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Sykes: B. Sykes, *The Seven Daughters of Eve*, Londra: Bantam, 2001

echipă formată din tătici: O. Semino *et al.*, *Science*, vol. 290, pp. 1155–9, 2000

Renfrew: C. Renfrew, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 98, pp. 4830–2, 2001

Genomuri

Haiku: poetul Buson, citat de Akiko Takeda, Proiectele de Baze de Date din Mediul Comercial, mai 1996

Venkatesh: citat într-un comunicat de presă al Institutului de Biologie Moleculară și Celulară, Singapore, 26 octombrie 2001

Inițiativa Genomului de Arabidopsis: *Nature*, vol. 408, pp. 796–815, 2000

Plasterk: R.H.A. Plasterk, *Science*, vol. 296, pp. 1263–5, 2002

Bevan: M. Bevan, *Nature*, vol. 416, pp. 590–1, 2002

Genomul uman

Kent: citat de Nicholas Wade, *New York Times*, 13 februarie 2001

SURSELE CITATELOR

Venter 1: PBS Buletin de știri cu Jim Lehrer, 6 aprilie 2000 (intervievat de Suzan Dentzer)

Clinton și Blair: conferință de presă, Casa Albă, 26 iunie 2000 (Blair conectat la satelit)

Dexter: citat într-un comunicat de presă, Wellcome Trust, 26 iunie 2000

Lander: Millennium Evening la Casa Albă, 14 octombrie 1999, citat în *Science*, vol. 291, p. 1196, 2001

Echipa Celera: J.C. Venter *et al.*, *Science*, vol. 291, pp. 1304–51, 2001

Collins: citat de Jonathan Amos, BBC website științific, 18 februarie 2001

Venter 2: conferință de presă, Al 18-lea Congres Internațional de Biochimie și Biologie Moleculară, UK, 16 iulie 2000

Stefansson: comunicare personală, 2002

Gramatica

Bogolyubov: citat în H.B.G. Casimir, *Haphazard Reality*, New York: Harper & Row, 1983

Chomsky: în „The Mind of Man”, BBC-TV Daly/Calder, 1970

Darwin: C. Darwin, *The Descent of Man*, Londra: Murray, 1871

Bruner: în „The Human Conspiracy”, BBC-TV, Nisbett/Calder, 1976

Minsky: în „Machines with Minds”, BBC Radio, producător Geoff Dehan, 1983

HAL: în *2001: A Space Odyssey*, scenariul de Stanley Kubrick și Arthur C. Clarke, 1968

Lascarides: în J. Calder, A. Lascarides și K. Stenning, *Human Communication*, în pregătire.

Gravitația

Einstein I: discurs în Kyoto, 1922, citat de M. White și J. Gribbin, *Einstein: A Life in Science*, Londra: Simon & Schuster, 1993

Galileo: în *De Motu*, Pisa, 1592, trad. I.E. Drabkin și în S. Drake, *Galileo Galilei on Motion and on Mechanics*, Madison: University of Wisconsin Press, 1960

Halley: „Ode to Newton”, tradusă din latină de L. Richardson în A. Cajori, *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Berkeley: University of California Press, 1934

Newton: scrisoare adresată lui Richard Bentley 1692, citată în A. Cajori, *loc. cit.*

Penrose: în „Einstein's Universe”, BBC-TV Freeth/Calder, 1979

Wheeler 1: în *ibid.*

Wheeler 2: J.A. Wheeler, *Geons, Black Holes and Quantum Foam*, New York: Norton, 1998

Witten: citat de Michio Kaku, *New Scientist*, 18 ianuarie 1997

Baez: citat de James Glanz, *New York Times*, 13 martie 2001

Rovelli: comunicare personală, 2002

Arkani-Hamed: citat de Paul Preuss, *Science Beat*, Laboratorul Lawrence Berkeley, 19 iunie 2000

Martyn: comunicare personală, 2002

Hadley: M.J. Hadley, discurs în cadrul celei de-a 5-a Conferințe despre Problemele Conceptuale și Filozofice în Fizică, Marea Britanie, Oxford, 10-14 septembrie 1996

Einstein 2: A. Einstein, *Out of my Later Years*, New York: Philosophical Library, 1950

Everitt 1 și 2: comunicare personală, 2002

Laing: citat de Robert Matthews, *Sunday Telegraph* (Londra), 10 februarie 2002

Amator: Lizzie Calder, comunicare personală, 2002

Haosul

Boiteux: citat în „Presentation: About IHÉS”, Institut des Hautes Études Scientifiques Bures-sur-Yvette, 2001

Thom: R. Thom în M. Atiyah și D. Iagolnitzer, eds., *Fields Medallists' Lectures*, Singapore: World Scientific, 1997

Stewart: I. Stewart, *Nature's Numbers*, Londra: Weidenfeld & Nicolson, 1995

Lorenz: citat de James Gleick în *Chaos: Making a New Science*, New York: Viking, 1998

Harrison: în „Sunshine with Scattered Showers”, BBC-TV, Chris Wells, 4 iulie 1996

Majerus: citat de Greg Neale, *Sunday Telegraph* (Londra), 21 martie 1999

Orrell: D. Orrell *et al.*, *Nonlinear Processes in Geophysics*, vol. 8, pp. 357–71, 2001

Ruelle: D. Ruelle, *Nature*, vol. 411, p. 27, 2001

Imagini cerebrale

Landau: W.M. Landau *et al.*, *Transactions of the American Neurological Association*, vol. 80, pp. 125–9, 1955

Cercetători Scandinavi: N. Lassen *et al.*, *Scientific American*, pp. 50–9, octombrie 1978

Ogawa: citat într-un comunicat de presă al Laboratoarelor Bell, 16 octombrie 2000

Zassetsky (soldat rănit): trad. M. Glenney, citat în „The Mind of Man”, BBC-TV Daly/Calder, 1970

Luria: comunicare personală, 1970

Friston: comunicare personală, 2002

Raichle: M.E. Raichle, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 95, pp. 765–72, 1998

Imortalitatea

Echipa Kiel: W. Klapper *et al.*, *FEBS Letters*, vol. 439, pp. 143–6, 1998

Greider: C.W. Greider, *Current Biology*, vol. 8, pp. R178–81, 1998

Harley: C.B. Harley, *Mutation Research*, vol. 256, pp. 271–82, 1991

Hayflick 1: L. Hayflick, *Experimental Gerontology*, vol. 33, pp. 639–53, 1998

Kirkwood și echipa: T.B.L. Kirkwood și S.N. Austad, *Nature*, vol. 408, pp. 233–8, 2000

Shakespeare: *Julius Caesar*, Act II, scena 2

Hayflick 2: L. Hayflick, *Nature*, vol. 408, pp. 267–9, 2000

Impacturile

Shoemaker: în „Crater of Death”, BBC Horizon/Martin Belderson, 11 septembrie 1997

Chicarro și Zender: în *Solar System News*, Agenția Spațială Europeană, septembrie 1998

Geneza: Capitolul 19, versetele 24 și 25

Koeberl 1: comunicare personală, 2002

Koeberl 2: comunicare personală, 2001

Inundațiile bazaltice

Echipa Britanico-Rusă: M.K. Reichow *et al.*, *Science*, vol. 296, pp. 1846–9, 2002

Rampino și Stothers: M.R. Rampino și R.B. Stothers, *Science*, vol. 226, pp. 1427–31, 1984

Renne: P.R. Renne, *Science*, vol. 296, pp. 1812–14, 2002

Saunders: comunicare personală, 2002

Înflorirea

Blazquez: comunicare personală, 2002

Dean: C. Dean, *Science*, vol. 290, p. 2071, 2000

Simpson și Dean: G.G. Simpson și C. Dean, *Science*, vol. 296, pp. 285–9, 2002

Simpson: comunicare personală, 2002

Limbajele

Labov 1: e-mail pentru chestionare studențești, „Cum am învățat lingvistica, și ce am înțeles din ea”, 1997

Labov 2: în „The Human Conspiracy”, BBC-TV, Nisbett/ Calder, 1975

Labov 3: comunicare personală, 2002

Weinreich: originea remarcii este atribuită în mod variabil lui Uriel Weinreich sau tatălui său Max, cărturar Yiddish

Cavalli-Sforza: L.L. Cavalli-Sforza, lucrare câștigătoare a Premiului Balzan, Bern, 16 noiembrie 1999

Comrie: comunicare personală, 2002

Labov 4: e-mail pentru chestionare studențești, „Cum am învățat lingvistica, și ce am înțeles din ea”, 1997

Lumina Pământului

Leonardo: Codex Leicester, foaie 2A, folio 2r (1506-10) proprietate a lui William H. Gates III, donată Muzeului American de Istorie Naturală, 1998

Koonin: citat de Gary Taubes, *Science*, vol. 264, pp. 1529–30, 1994

Goode: în cadrul conferinței „Ciclul Solar și Climatul Terestru”, Tenerife, 25-29 septembrie 2000

Herschel: W. Herschel, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 91, pp. 265–83, 1801

Marsh și Svensmark: N. Marsh și H. Svensmark, *Space Science Reviews*, vol. 94, pp. 215–30, 2000

Comitetul Interguvernamental de Schimbări Climatice: J.T. Houghton *et al.*, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge: Cambridge University Press, 2001

Kirkby: Sumar în *CLOUD Proposal*, Geneva: CERN, SPSC/P317, 2000

Mamiferele

Barsbold: comunicare personală, 2002

Kielan-Jaworowska: comunicare personală, 2002

O'Brien: citat de Elizabeth Pennisi în *Science*, vol. 294, pp. 2266–8, 2001

Raup: D.M. Raup, *Extinction: Bad Genes or Bad Luck?*, New York: Norton, 1991

Mașinile Timpului

Thome: în „Time Travel”, PBS/WGBH/NOVA TV, Peter Tyson, 1999

Novikov: comunicare personală, 1999

Hadley: M.J. Hadley, *Classical and Quantum Gravity*, vol. 19, pp. 4565–71, 2002

Materiale amorfe

De Gennes 1: în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

De Gennes 2: citat în *Chem & Cam*, primăvara 2001

Keller: comunicare personală, 2002

Materia neagră

Kipling: Rudyard Kipling (1910) în Philip Larkin, ed., *The Oxford Book of Twentieth Century English Verse*, Oxford: Oxford University Press, 1972

„The Big Blank”: titlu în *Scientific American*, februarie 1982

Croom: citat într-un comunicat de presă al Societății Regale de Astronomie, 3 aprilie 2001

Kneib: comunicare personală, 2002

Memoria

Hebb 1: în „The Mind of Man”, BBC-TV Daly/Calder, 1970

Hebb 2: D.O. Hebb, *Organization of Behavior*, New York: Wiley, 1949

Grant: comunicare personală, 2000

HM: citat de Brenda Milner, comunicare personală, 1970

Kandel: Autobiografie, buletin de știri, Fundația Nobel, Stockholm, 2000

Mansuy: comunicare personală, 2002

Minerale în spațiu

Shakespeare: *Othello*, Act V, scena 2

Waelkens: citat într-un comunicat de presă al Agenției Spațiale Europene, 23 octombrie 1998

Crovisier: citat într-un comunicat de presă al Agenției Spațiale Europene, 28 martie 1997

Waters: comunicare personală, 2001

Sorby: H.C. Corby, *Nature*, vol. 15, p. 495, 1877

Hanlon: comunicare personală, 2001

Kemper: citat într-un site web de informații științifice al Agenției Spațiale Europene, 17 ianuarie 2002

Anders: citat în N. Calder, *Giotto to the Comets*, Londra: Presswork, 1992

Mișcările plăcilor tectonice

Vine 1: F.J. Vine și D.H. Matthews, *Nature*, vol. 199, pp. 947–9, 1963

Vine 2: citat în R. Muir Wood, *The Dark Side of the Earth*, Londra: Allen & Unwin, 1985

SURSELE CITATELOR

Anderson: D.L. Anderson, *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 146, pp. 56–76, 2002

Bouguer: citat de A. Holmes, *Principles of Physical Geology*, Londra: Nelson, 1965

Rummel: comunicare personală, 2002

Moartea celulelor

Melville: „The Encantadas or, Enchanted Isles”, *Putnam's Monthly Magazine*, martie 1854, New York: G.R. Putnam & Co.

Kerr, Wyllie și Currie: J.F.R. Kerr *et al.*, *British Journal of Cancer*, vol. 26, pp. 239–57, 1972

Osborne: citat de Ricki Lewis, *The Scientist*, 6 februarie 1995

Krammer: P.H. Krammer, *Nature*, vol. 407, pp. 789–95, 2000

Skulachev: L. Skulachev, *Life*, vol. 49, pp. 365–75, 2000

Molecule în spațiu

Thaddeus: citat în *Harvard News*, 11 iulie 1996

Léger: comunicare personală, 2001

Cernicharo: citat în nota informativă a Agenției Spațiale Europene, 29 aprilie 1997

Neufeld 1: citat într-un comunicat de presă al Universității Johns Hopkins, 10 aprilie 1998

Feuchtgruber: citat într-un comunicat de presă al Universității Johns Hopkins, 29 aprilie 1997

Neufeld 2: citat de R.A. Kerr în *Science*, vol. 293, p. 407, 2001

Imai: citat într-un comunicat de presă al Observatorului Jodrell Bank, 19 iunie 2002

Van Dishoeck: comunicare personală, 2002

Monștrii optimiști

Green: H. Green, „In Memoriam – Barbara McClintock”, Fundația Nobel, Stockholm, 1999

Kakutani: comunicare personală, 2002

Darwin despre Lamarck: în schița istorică anexată la *The Origin of Species*, ediția a 3-a, Londra: Murray, 1871

Waddington 1: C.H. Waddington, *Evolution*, vol. 7, pp. 118–26, 1953

Waddington 2: C.H. Waddington, *The Strategy of the Genes*, Londra: Allen & Unwin, 1957

Jablonka și Lamb: E. Jablonka și M.J. Lamb, *Epigenetic Inheritance and Evolution*, Oxford: Oxford University Press, ediție broșată, 1999

Lindquist: citat într-un comunicat de presă al Universității Spitalelor și Sistemului Sanitar din Chicago, 26 noiembrie 1998

Critici britanici: L. Partridge și N.H. Barton, *Nature*, vol. 407, pp. 457–8, 2000

Sangster: comunicare personală, 2002

Nucleul solar

Leighton: Proiectul Istoriei Orale al Institutului Tehnologic din California, *Interviews with Robert B. Leighton* de Heidi Aspaturian, Caltech Archives, 1995

- Gough 1: Discurs în cadrul Academiei Naționale de Știință din Statele Unite, 1991
 Eddington: Discurs în cadrul Asociației Britanice pentru Dezvoltarea Științei, Oxford, august 1926
 Scherrer: citat într-o notă informativă a Agenției Spațiale Europene, 27 aprilie 2001
 Kosovichev: citat într-o notă informativă a Agenției Spațiale Europene, 6 noiembrie 2001
 Howe: citat într-un comunicat de presă, NASA, 30 martie 2000
 Gough 2: seminar în cadrul Agenției Spațiale Europene, Departamentul de Știință Spațială, Noordwijk, 17 mai 1999
 Charvátova: I. Charvátova, *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, vol. 41, pp. 200–4, 1990

Originea umană

- Pääbo 1: citat de Steven Dickman, *Current Biology*, vol. 8, pp. R329–30, 1998
 Leakey: în „The Life Game”, BBC-TV, Malone/Calder, 1973
 Cheboi: în „The First Human?”, JWM Producție/Canal 4 TV, Ann Carroll/Noddy Samula, 19 noiembrie 2001
 Pickford: citat pe site-ul web al Orașului Științelor și Industriei, La Villette, 2001
 Brunet: citat în *Le Monde* (Paris), 11 iulie 2002
 Wood: B. Wood, *Nature*, vol. 418, pp. 133–5, 2002
 Reynolds: citat de Natalie Angier, *New York Times*, 13 februarie 2001
 Hong-Seog: citat de Dennis Normile, AAAS Serviciul de Informații Științifice, 19 martie 2001
 Pääbo 2: *Science*, vol. 291, pp. 1219–20, 2001

Originea vieții

- Gilbert și Sullivan: *The Mikado* în I. Bradley, ed., *The Complete Annotated Gilbert and Sullivan*, Oxford: Oxford University Press, 2001
 Lugowski: W. Lugowski, *Filozoficzne podstawy protobiologii*, Warsaw: IfiS-PAN, 1995
 Darwin 1: C. Darwin, *The Origin of Species*, Londra: Murray, 1859
 Darwin 2: scrisoare adresată lui Joseph Hooker, 1871, în F. Darwin, ed., *The Life and Letters of Charles Darwin*, vol. 3, Londra: Murray, 1888
 Cech: T.R. Cech, *Science*, vol. 289, pp. 878–9, 2000
 Lancet și echipa: D. Segre *et al.*, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, vol. 31 pp. 119–45, 2001
 Wilde: comunicare personală, 2002
 Raulin: comunicare personală, 2001
 Ehrenfreund: comunicare personală, 2002
 Kissel: comunicare personală, 2001

Oscilații neutrinice

- minerii aurari și Davis: în „The Violent Universe”, BBC-TV Daly/Calder, 1969
 minerii aurari despre înnoirare: citat în N. Calder, *Violent Universe*, Londra: BBC Publications, 1969

Updike: John Updike, „Cosmic Gall”, în *Telephone Poles and other Poems*, New York: Knopf, 1963

Kirsten: comunicare personală, 1993

McDonald: citat într-un comunicat de presă al Observatorului Sudbury Neutrino, 20 aprilie 2002

Weinheimer: comunicare personală, 2001

Totsuka: în comunicat de presă, Super-Kamiokande, 1998

Parteneri moleculari

Huc și Lehn: I. Huc și J.-M. Lehn, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 94, pp. 2106–10, 1997

Gimzewski: comunicare personală, 2002

Sumper: comunicare personală, 2002

Lehn: J.-M. Lehn, *Science*, vol. 295, pp. 2400–3, 2002 și *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 99, pp. 4763–8, 2002

Pământul

Rugăciune sumeriană: citată de E.C. Krupp, *Echoes of the Ancient Skies*, Oxford: Oxford University Press, 1983

Sagdeev: citat de P. Moore, *The New Atlas of the Universe*, Londra: Mitchell Beazeley 1984

Saunders: comunicare personală, 2002

Nimmo: comunicare personală, 2002

Stone: comunicare personală, 2002

Hoppa: citat în *Spaceviews*, 16 septembrie 1999

Spohn: comunicare personală, 2001

Grande: citat în SMART-1: *By Sun Power to the Moon*, Noordwijk: Agenția Spațială Europeană BR-191, 2002

Laskar: J. Laskar în *Récents Progrès en Génie des Procédés*, vol. 11, pp. 33–46, Paris: Lavoisier, 1997

Prădători

Bondi: comunicare personală, 1980

Riveros: comunicare personală, 2002

Terborgh: citat de Sherry Devlin în *The Missoulian*, 28 aprilie 1999

Soule și Noss: în *Wild Earth*, vol. 3, no. 8, toamna 1998

Prioni

Gajdusek: Discurs Nobel, Stockholm, 13 decembrie 1976

Bee: citat în Chris Baker, *Brighton Evening Argus*, 26 octombrie 2000

Prusiner 1: Autobiografie, buletin de știri, Fundația Nobel, Stockholm, 1997

Prusiner 2: comunicare personală, 2000

Bucciantini și echipa: M. Bucciantini *et al.*, *Nature*, vol. 416, pp. 507–11, 2002

Lindquist: citat de David Cameron, *Technology Review*, 8 februarie 2002

Proteome

- Bairoch: comunicare personală, 2002
- Microbiologi din Sydney: V.C. Wasinger *et al.*, *Electrophoresis*, vol. 16, pp. 1090–4, 1995
- Cobon: Centrul Australian de Analiză a Proteomelor, Raportul Anual, 2000
- Superti-Furga: citat într-un comunicat de presă al Laboratorului European de Biologie Moleculară, 9 ianuarie 2002
- Inițiativa Proteomicii Uman: C. O'Donovan *et al.*, *Trends in Biotechnology*, vol. 19, pp. 178–181, 2001

Radiația cosmică

- Etchegoyen: comunicare personală, 2002
- Versuri: inscripție la Centrul Ettore Majorana pentru Cultură Științifică, Erice
- Auger: P. Auger, *Journal de Physique*, vol. 43, p. 12, 1982
- Watson: comunicare personală, 2002

Ritmurile cerebrale

- Un om de știință în vizită: Philip Laurent, *Science*, vol. 45, p. 44, 1917
- Smith: H.M. Smith, *Science*, vol. 82, pp. 151–2, 1935
- Kopell 1: titlul cursurilor, Colegiul Harvey Mudd, Calif., 10 aprilie 2001, atribuit scriitorului științific Barry Cipra
- Kuramoto: comunicare personală, 2002
- Strogatz: S.H. Strogatz, *Nature*, vol. 410, pp. 268–76, 2001
- Kopell 2: comunicare personală, 2002

Scara lui Bernal

- Bernal: J.D. Bernal, comunicare personală, 1958

Schimbări climatice

- Scriptwriter: N. Calder, *Nature*, vol. 252, pp. 216–18, 1974
- Hays, Imbrie și Shackleton: J.D. Hays, J. Imbrie și N.J. Shackleton, *Science*, vol. 194, pp. 1121–32, 1976
- Kukla: în „The Weather Machine”, BBC-TV, Nisbett/Calder, 1974
- Shackleton: N.J. Shackleton, *Science*, vol. 289, pp. 1897–1902, 2000
- Berger: citat de R.A. Kerr în *Science*, vol. 289, p. 1868, 2000
- Bolin: în „The Weather Machine”, BBC-TV Nisbett/Calder, 1974
- Lamb: H.H. Lamb, *Climate: Present, Past and Future*, vol. 2, Londra: Methuen, 1977
- Manabe: remarci adresate la inaugurarea Institutului Japonez pentru Cercetarea Schimbărilor Globale, 1998
- Kennedy: editorial în *Science*, vol. 291, p. 2515, 2001
- Academia Națională de Științe: *Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions*, Washington: Academia Națională de Științe, 2001
- Editorii cotidianului *Science*: „Areas to Watch in 2003”, *Science*, vol. 298, p. 2298, 2002

Watson: citat de BBC News Online, 19 aprilie 2002

Pachauri și Love: știri pe scurt, Geneva, preluate de Reuters, 9 august 2002

Sistemul imunitar

Goodnow 1: site-ul web al Laboratorului Goodnow, 16 mai 2001

Metchnikoff: Discurs Nobel, Stockholm, 11 decembrie 1908

Montagnier: în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Burnet: F.M. Burnet, *Changing Patterns*, Melbourne: Heinemann, 1968

Dausset: Discurs Nobel, Stockholm, 8 decembrie 1980

Goodnow 2: comunicare personală, 2002

Hacohen: comunicare personală, 2002

Cogoli: comunicare personală, 2002

Sparticule

Jacob 1: în A. Wilson, ed., *Fundamental Physics in Space*, Noordwijk: Agenția Spațială Europeană SP-420, 1997

Pati: J.C. Pati în J. Ellis *et al.*, eds., *The Abdus Salam Memorial Meeting*, Singapore: World Scientific, 1999

Seiberg: N. Seiberg în *ibid.*

Jacob 2: comunicare personală, 2002

Stelele

Huckleberry Finn: în Mark Twain, *Adventures of Huckleberry Finn*, E. Elliott, ed., Oxford: Oxford Paperbacks, 1999

Herschel: citat în D. Malin și P. Murdin, *Colours of the Stars*, Cambridge: Cambridge University Press, 1984

Van Leeuwen: citat în N. Calder, compilat, *Success Story*, Noordwijk: Agenția Spațială Europeană BR-147, 1999

Lindgren: comunicare personală, 1997

Christensen-Dalsgaard: comunicare personală, 2001

Shakespeare: Lorenzo, în *The Merchant of Venice*, Act V, scena 1

Favata: comunicare personală, 2002

Feast: citat într-un comunicat de presă al Agenției Spațiale Europene, 14 februarie 1997

Baldwin: adaptat dintr-o broșură, Laboratorul Cavendish, Cambridge, 1999

Parsce: comunicare personală, 2002

Stele neutronice

Bell Burnell: S.J. Bell Burnell, *Annals of the New York Academy of Science*, vol. 302, pp. 685–9, 1977

Galloway: citat într-un comunicat de presă al Institutului Tehnologic din Massachusetts, 23 mai 2002

Ibrahim: citat într-un comunicat de presă, NASA Goddard, 4 noiembrie 2002

Caraveo: comunicare personală, 2002

Lorimer: comunicare personală, 2002

Supa de quarci

Jacob: comunicare personală, 2002

Kirk: Laboratorul Național Brookhaven, buletin de știri, 18 iulie 2001

Superatomi, suprafluide și supraconductoare

Bose: citat de J.J. O'Connor și E.F. Robertson, site-ul web al Universității St Andrews pentru istoria matematicii <<http://www-groups.dcs.st-andrews.ac.uk/history/Mathematicians/Bose.html>> decembrie 1996

Ketterle: W. Ketterle, *Physics Today*, pp. 30–5, decembrie 1999

Hau: citat de William J. Cromie, *Harvard Gazette*, 18 februarie 1999

Bloch: comunicare personală, 2002

Supercorzile

Copland: citat în J.R. Pierce, *The Science of Musical Sound*, New York: Scientific American Books, 1983

Green: M. Green, *Scientific American*, pp. 44–56, septembrie 1986

Schwarz: interviu de Patricia Schwarz, nedatat, despre Site-ul Oficial al Teoriei Corzilor <<http://superstringtheory.com>>

Carroll: Lewis Carroll, *Through the Looking-Glass* (1871) retipărit în R.L. Green, ed., *Alice's Adventures in Wonderland și Through the Looking-Glass*, Oxford: Oxford Paperbacks, 1998

Witten 1: citat de M.J. Duff în J. Ellis et al., eds., *The Abdus Salam Memorial Meeting*, Singapore: World Scientific, 1999

Witten 2: citat de James Glanz, *New York Times*, 13 martie 2001

Keats: „Ode on a Grecian Urn”, în H. Gardner, ed., *The New Oxford Book of English Verse*, Oxford: Clarendon Press, 1972

Traficul celular

Claude: Discurs Nobel, Stockholm, 12 decembrie 1974

Simons 1: în N. Calder, ed., *Scientific Europe*, Maastricht: Nature & Technology, 1990

Vale: citat în *Applied Genetics News*, ianuarie 2000

Simons 2: comunicare personală, 2002

Undele gravitaționale

Danzmann: comunicare personală, 1995

Schutz: comunicare personală, 2002

Universul

Morrison: în „The Violent Universe”, BBC-TV, Daly/Calder, 1969

Mandelbrot: B.B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, New York: Freeman, 1982

Priester: comunicare personală, 2002

Peebles: P.J.E. Peebles, articol semnificativ în *Scientific American* despre sciam.com 18 ianuarie 2001

Dyson: F. Dyson, *Scientific American*, p. 51, septembrie 1971

SURSELE CITATELOR

Carter: B. Carter în M.S. Longair, ed., *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, Dordrecht: Reidel, 1974

Magueijo: comunicare personală, 2002

Rees: discursul Astronomer Royal în cadrul Societății Regale de Medicină și Societății Regale a Artelor, Londra, 29 mai 2002

Variola

Macaulay: T.B. Macaulay, *The History of England from the Accession of James II*, Philadelphia: Claxton, Remsen & Haffelfinger, 1880

N. Barquet și P. Domingo: *Annals of Internal Medicine*, vol. 127, pp. 635–42, 1997

Amherst: facsimile ale scrisorii din 16 iulie 1763 despre NativeWeb, <<http://www.nativeweb.org/>>

Cântec popular: citat în I. și P. Opie, *The Oxford Dictionary of Nursery Rhymes*, Oxford: Oxford University Press, 1951

Jenner: E. Jenner, *Inquiry into the Cause and Effects of the Variola Vaccinae*, 1798, antologiat în D.D. Runes, *A Treasury of World Science*, New York: Philosophical Press, 1962

Societatea Regală despre Jenner: citat de N. Barquet și P. Domingo, *Annals of Internal Medicine*, vol. 127, pp. 635–42, 1997

Alibek 1: în Universitatea Boston, *Perspective*, vol. 9, no. 1, 1998

Alibek 2: citat în Amy Argetsinger, *Washington Post*, 14 februarie 2002

Vântul solar

Renfrew: C. Renfrew, *Before Civilization*, Londra: Cape, 1973

Prieten al lui Forbush: J.A. Van Allen, *Biographical Memoir of S.E. Forbush*, Washington DC: Academia Națională a Științelor, 1984

Simpson: comunicare personală, 1994

Pundits către Parker: E.N. Parker, comunicare personală, 2000

Dante: *Inferno*, canto XXVI, *Non vogliate negare l'esperienza di retro al Sol, del mondo senza gente*, trad. L. Calder

Marsden: citat în N. Calder, *Beyond this World*, Noordwijk: Agenția Spațială Europeană BR-112, 1995

Balogh: comunicare personală, 1994

Bertaux: citat în N. Calder, compiler, *Success Story*, Noordwijk: Agenția Spațială Europeană BR-147, 1999

Frisch: P.C. Frisch, *American Scientist*, vol. 88, pp. 52–9, 2000

Viața extraterestră

Queloz 1: în „Hunt for Alien Worlds”, PBS/Nova TV, 18 februarie 1997

Artymovicz: în cadrul conferinței Uniunii Internaționale a Astronomilor, Manchester, 8 august 2000

Guilloteau: comunicare personală, 2001

Bruno: *De l'infinito universo e mondi* (1584), tradus, în D. Waley Singer, *Giordano Bruno: His Life and Thought*, New York, Schuman, 1950

Butler: citat într-un comunicat de presă al NASA, 13 iunie 2002

Queloz 2: citat într-un comunicat de presă al Agenției Spațiale Europene, 18 iunie 2002

Brack: comunicare personală, 2001

Cocconi și Morrison: G. Cocconi și P. Morrison, *Nature*, vol. 184, p. 844, 1959

Shklovskii: I.S. Shklovskii, *Priroda*, no. 7, p. 21, 1960

Rees: discurs în cadrul Astronomer Royal la Societatea Regală de Medicină și Societatea Regală a Artelor, Londra, 29 mai 2002

Vorbirea

Henshilwood: comunicare personală, 2002

Golding: William Golding, *The Inheritors*, Londra: Faber, 1955

Pinker: S. Pinker, *The Language Instinct*, New York: Morrow, 1994

Lenneberg, în J.A. Fodor și J.J. Katz, eds., *The Structure of Language: Readings in the Philosophy of Language*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1964, pp. 579–603

Vargha-Khadem: comunicare personală, 2002

Monaco și echipa: C.S.L. Lai *et al.*, *Nature*, vol. 413, pp. 519–23, 2001

Echipa Leipzig-Oxford: W Enard *et al.*, *Nature*, vol. 418, pp. 869–72, 2002

Enard: citat de Helen Briggs, Știri BBC Online, 14 august 2002

Vremea spațială

Van Eyken: comunicare personală, 2002

Brekke: citat într-un comunicat de presă al Uniunii Internaționale a Astronomilor, 3 august 2000

Cornilleau-Wehrlin: comunicare personală, 2001

Tsuneta: comunicare personală, 2002

Mason: comunicare personală, 2001

Title: citat în N. Calder, compilat, *Success Story*, Noordwijk: Agenția Spațială Europeană BR-147, 1999

Chairman: J. Gurman în cadrul Adunării Uniunii Internaționale a Astronomilor, Manchester, august 2000

Marsch: comunicare personală, 2001

Zone fierbinți

Schmincke: H.U. Schmincke în D.G. Smith, ed., *The Cambridge Encyclopaedia of Earth Sciences*, Cambridge: Cambridge University Press, 1983

Foulger 1: discurs în cadrul Societății Regale de Astronomie, Londra, 10 mai 2002

Romanowicz și Gung: B. Romanowicz și Y. Gung, *Science*, vol. 296, pp. 513–16, 2002

Foulger 2: comunicare personală, 2002

INDEX DE NUME

A

Aaby, Bent 138
 Adams, Douglas 59
 Ai (cimpanzeu) 162
 Ai Guoxiang 379
 Airy, George 527
 Albrecht, Andreas 62, 695
 Alibek, Ken 700
 Alpher, Ralph 59
 Al-Razi 635
 Altman, Joseph 175
 Alvarez, Luis și Walter 319
 Amherst, Jeffrey 698
 Anders, Edward 520, 571
 Anderson, Carl 19
 Anderson, Don 526
 Anderson, Philip 94, 500
 Arber, Werner 197
 Arkani-Hamed, Nima 435
 Arrhenius, Svante 134, 566, 587, 630
 Artymowicz, Pawel 711
 Asaro, Frank 320
 Aschenbach, Bernd 242
 Aspect, Alain 168
 Asquith, Anthony 478
 Asscher, William 200
 Attardi, Domenica 174
 Auger, Pierre 612
 Auroy, Philippe 502
 Avery Oswald 392
 Axelrod, Robert 10-11
 Ayuma (cimpanzeu) 162

B

Baade, Walter 657
 Bacchetti, Silvia 457
 Bach, Johann Sebastian 59
 Bacz, John 434
 Baillie, Mike 465
 Bairoch, Amos 605-6, 608, 610
 Bakker, Robert 321
 Baldwin, John 655
 Ballard, Robert 54
 Balmino, Georges 206, 528
 Balogh, André 706

Balsiger, Hans 156
 Baltimore, David 200, 395
 Banfield, Jillian 57
 Barber, James 367-8
 Bardeen, John 668
 Barquet, Nicolau 698
 Barrow, Isaac 218
 Barsbold, Rinchen 491
 Bednorz, Georg 669
 Bee, David 600
 Beer, Juerg 337
 Behrenfeld, Michael 83
 Bell Burnell, Jocelyn 657
 Bell, Graham 73, 291
 Bell, John 168
 Benner, Steven 5, 277-8
 Bennett, Charles 170
 Benzer, Seymour 109
 Berg, Paul 196, 397
 Bergelson, Joy 91, 148, 199
 Berger, Andre 628
 Berger, Hans 619
 Bernabei, Rita 505
 Bernal, Desmond 48, 624
 Bernard, Claude 217
 Berners-Lee, Tim 86
 Bertani, Elizabeth 272
 Bertaux, Jean-Loup 708
 Berthold, Peter 111
 Bethe, Hans 59, 551
 Bevan, Michael 29, 415
 Bhabha, Homi 325
 Biermann, Ludwig 703, 705
 Bignami, Giovanni 660
 Bingham, Robert 194
 Biot, Jean-Baptiste 124
 Birkeland, Kristian 727
 Bjerknes, Jacob 245, 248
 Bjorken, James 328
 Blackburn, Elizabeth 456
 Blair, Tony 419
 Blake, William 189, 238
 Blázquez, Miguel 473, 475
 Blobel, Günter 680
 Bloch, Immanuel 672
 Bogolyubov, Nikolai 424, 670
 Bohm, David 167-8

Bohr, Niels 41-2, 165, 167, 169, 266
 Boiteux, Marcel 440
 Bolin, Bert 631, 633
 Bolton, John 383
 Boltzmann, Ludwig 363, 365
 Bond, Alan 51
 Bond, Gerard 138, 334
 Bondi, Hermann 595, 685
 Bonner, William 128
 Borges, Jorge Luis 308
 Borlaug, Norman 120-1, 201, 594
 Bosch, Carl 120
 Bose, Satyen 666-7
 Bouguer, Pierre 527
 Bouquet, Henry 698
 Boveri, Theodor 250, 253
 Boynton, William 461
 Brack, André 716
 Bradbury, Ray 50
 Bragg, Lawrence 392
 Brassard, Giles 170
 Braun, Amin 195
 Braun, Douglas 552
 Braun-Blanquet, J. 69
 Brecher, Kenneth 106
 Brekke, Paal 728
 Brenner, Sydney 253, 408
 Bretherton, Francis 644
 Britten, Roy 254
 Broca, Paul 448
 Brochard-Wyart, Françoise 502
 Broecker, Wallace 203
 Brout, Robert 94
 Brückner, Eduard 626
 Bruner, Jerome 426
 Brunet, Michel 562
 Brunhes, Bernard 522
 Bruno, Giordano 712
 Bryson, Reid 630
 Bucciantini, Monica 603
 Buchner, Eduard și Hans 4
 Bullard, Edward 522
 Burbidge, Margaret și Geoffrey 238

INDEX DE NUME

- Burnet, Macfarlane 639
 Butler, Paul 713
 Byars, Carlos 461
- C**
 Caesar, Julius 459
 Cajal, Santiago Ramón y 172–3, 175
 Calder, Ritchie 235
 Calder, Simon 312
 Calvin, Melvin 365
 Camargo-Zanoguera, Antonio 461
 Cameron, Alistair 592
 Campbell, John 283, 287
 Caraveo, Patrizia 660
 Carlstrom, John 343
 Carpenter, Ray 161
 Carrel, Alexis 455
 Carrington, Richard 732
 Carroll, Lewis 90, 147, 385, 676
 Carson, Rachel 69
 Carter, Brandon 694
 Carusi, Andrea 157
 Cash, Webster 390
 Casimir, Hendrik 261
 Cavalli-Sforza, Luca 401–6, 481–2
 Cech, Thomas 568
 Celsius, Anders 727
 Cernicharo, José 537
 Cesarsky, Catherine 309
 Chadwick, James 325, 657
 Charvátová, Ivanka 556
 Cheboi, Kiptalam 561
 Chicarro, Agustín 463
 Chippindale, Adam 147
 Chiti, Fabrizio 603
 Chiu, Hong-ye 384
 Chomsky, Noam 425–8
 Christensen-Dalsgaard, Jørgen 653
 Chu, Steven 352
 Churchill, Winston 222
 Ciamician, Giacomo 364, 369
 Cimatti, Andrea 310
 Ciutláhuac (pacient) 698
 Clarke, Arthur C. 262
 Claude, Albert 679, 682
 Clinton, Bill 419
 Cloud, Preston 270
 Cobon, Gary 608
 Cocconi, Giuseppe 716
 Coen, Enrico 283
 Cogoli, Augusto 643
 Cohen, Stanley 174
 Collins, Desmond 299
 Collins, Francis 13, 421
 Comrie, Bernard 483
 Connell, Joseph 74
 Conway Morris, Simon 299–300
 Cook, James 400
 Cooper, Leon 668
 Copernicus, Nicolaus 534
 Copland, Aaron 672
 Corliss, John 53
 Cornell, Eric 670–1
 Cornilleau-Wehrlin, Nicole 730
 Corrège, Thierry 247
 Cox, Paul 232
 Crichton, Michael 558
 Crick, Francis 392–5, 419, 566
 Cristofori, Bartolomeo 673
 Crockett, Davy 597
 Cronin, James 21–2
 Croom, Scott 509
 Crovisier, Jacques 518
 Curl, Bob 372, 374
 Currie, Alistair 531
 Cuvier, Georges 320, 496
 Cyrano de Bergerac 47
- D**
 D'Esposito, Mark 452
 Daedalus (pseudonim lui David Jones) 51
 Danjon, André-Louis 485
 Dansgaard, Willi 333
 Dante Alighieri 689–90, 696, 706
 Danzmann, Karsten 686
 Darwin, Charles 6, 31, 216, 266, 283, 415, 530, 542
 despre cursul evoluției 34
 despre ecologie 290
 despre mecanisme
 evoluției 9, 279–81, 287, 293, 321, 324
 despre originea vieții 566–7
 despre vorbire 425
 Darwin, Erasmus 280
 Dashzeveg, Demberlyin 491
 Dausset, Jean 640
 Davidson, Eric 254
 Davis, Raymond 574
 Dawkins, Richard 48, 90, 285
 de Bernardis, Paolo 341
 de Broglie, Louis 100, 163–8, 669
 de Broglie, Maurice 164
 de Duve, Christian 346, 679
 de Gennes, Pierre-Gilles 501
 de Vries, Hessel 701
 de Waal, Frans 161
 De Waele, Jean-Pierre 14
 Dean, Caroline 475
 Déby, Idriss 563
 Deisenhofer, Johann 366
 Dekker, Cees 375
 Denton, George 184
 Descartes, René 109, 280, 425
 D'Esposito, Mark 452
 Deutsch, David 87
 Devos, Katrien 414
 DeVries, Art 57
 Dewey, John 177
 Dexter, Michael 419
 Dicke, Robert 339
 Dickerson, Richard 37
 Dimopoulos, Savas 435
 Dingle, Herbert 103
 Dirac, Paul 19, 166, 373, 618
 Djerrasi, Carl 107
 Djimdoumalbaye, Ahounta 562
 Dobson, David 213
 Dobzhansky, Theodosius 294
 Dolly (oaie clonată) 144, 150
 Domingo, Pere 698
 Doolittle, Ford 38
 Drake, Frank 716
 Drukier, Andrzej 505
 Dubois, J.E. 485–6
 Duvall, Thomas 552
 Dvali, Gia 435
 Dyson, Freeman 50, 197, 693
- E**
 Eckholm, Erik 234
 Eddington, Arthur 550, 652
 Edman, Pehr 605, 608
 Edwards, Anthony 401
 Efstathiou, George 259
 Ehrenfreund, Pascale 571, 573
 Ehrlich, Paul (anticorpi) 636–7, 639
 Ehrlich, Paul R. (populație) 119
 Eiffel, Alexandre-Gustave 163

INDEX DE NUME

- Eigen, Manfred 567
 Einstein, Albert 25, 100, 164, 216, 330, 361, 435, 500, 595
 despre găuri negre 385
 despre acțiunea bosonilor și principiul laserului 666–7, 669
 despre forța de respingere cosmică 259–60
 despre energie și masă 264–6
 despre principiul echivalenței 24, 438–9, 617–8
 despre gravitație (relativitatea generală) 430–3, 662, 674, 684, 684–7, 693
 despre arme nucleare 41, 43
 despre fizica cuantică 164, 167, 169, 436–7
 despre variabila timp (timpul variabil) 100–106
 Ekert, Artur 171
 Eldredge, Niles 282
 Ellis, John 23
 Elmqvist, Thomas 232
 Elton, Charles 69
 Elŕn, Boris 700
 Emiliani, Cesare 626
 Enard, Wolfgang 725
 Englert, Francois 94
 Eötvös, Loránd 437, 527–9
 Ephorus 155
 Erickson, John 44
 Ermentrout, Bard 622
 Erwin, Terry 70
 Escher, Maurits Cornelis 499
 Euclid 342
 Euripide 312
 Everitt, Francis 437
- F**
 Fa, John 233
 Fabian, Andy 387
 Faissner, Helmut 359
 Fallaci, Oriana 50
 Faraday, Michael 500
 Farley, Ken 464
 Favata, Fabio 654
 Feast, Michael 656
 Feenstra, Wil 27
 Feigenbaum, Mitchell 443
 Fermi, Enrico 266, 326, 667, 717
- Ferreira, Pedro 261
 Fersht, Alan 352
 Feuchtgruber, Helmut 538
 Feyerabend, Paul 217
 Feynman, Richard 167, 331, 356, 376
 despre antimaterie 25, 127
 despre descoperiri 216
 Fire, Andrew 412
 Fischer, Emil 582
 Fisher, Ronald 280
 Fisher, Simon 723
 Fitch, Val 21–2
 Forbush, Scott 702–3
 Fossard, Eric 551
 Foster, Robin 72
 Foulger, Gillian 738–40
 Fowler, William 238
 Francis, Paul 66
 Franklin, Benjamin 202
 Franklin, Rosalind 393
 Frayn, Michael 42
 Freeman, Derek 215
 Freud, Sigmund 7, 511–2
 Friedmann, Alexander 260
 Friis-Christensen, Eigil 488
 Frisch, Otto 266
 Frisch, Priscilla 709
 Friston, Karl 453
 Fritzsch, Harald 328
 Froude, Derek 569
 Fuller, R. Buckminster 370–2, 374
 Fitcher, Bruce 457
- G**
 Gaffey, Michael 520
 Gagarin, Yuri 18, 47, 52
 Gaidos, Eric 272
 Gajdusek, Carleton 599–601
 Galama, Titus 303
 Galileo Galilei 24, 215–6, 338, 679
 experimentalul din Pisa 430–1, 433
 Galloway, Duncan 658
 Gamow, George 59, 339
 Gaskell, Martin 391
 Gauthier-Lafaye, Francois 263
 Gavin, Anne-Claude 610
 Gebhardt, Karl 390
 Gehring, Walter 253
 Gell-Mann, Murray 326–7
 Genzel, Reinhard 308, 389
- Giannoni, Elisa 603
 Gierer, Alfred 249–50
 Gilbert și Sullivan 566
 Giménez, Álvaro 307
 Gimzewski, James 583
 Gisin, Nicolas 169–70
 Glashow, Sheldon 328, 357, 647
 Gold, Thomas 56, 657
 Golding, William 720–1, 725
 Goldschmidt, Richard 542
 Goldstone, Jeffrey 94
 Golgi, Camillo 172–3
 Goodall, Jane 159, 161, 560
 Goode, Philip 486–7
 Goodnow, Christopher 634–5, 640–1
 Goodricke, John 655
 Gordon, Arnold 203
 Gough, Douglas 550, 554–5
 Gould, John 205
 Gould, Stephen Jay 282, 294, 298–9, 320
 Graham, Alister 386
 Graham, George 727
 Graham Smith, F. 218
 Grande, Manuel 593
 Grant, Seth 512
 Grec, Gerard 551
 Green, Howard 541
 Green, Michael 675
 Greenberg, Oscar 327
 Greider, Carol 456
 Greytak, Thomas 670
 Gribov, Vladimir 576
 Grieve, Richard 462
 Grime, Philip 73–4, 76
 Gringauz, Konstantin 705
 Gross, David 675
 Guilloteau, Stéphane 712
 Gung, Yuancheng 739
 Gurdon, John 144–5
 Gusterson, Hugh 44
 Guterch, Aleksander 181
 Guth, Alan 61, 67
 Gwinner, Eberhard 111–2
- H**
 Haber, Fritz 120
 Hacohen, Nir 642
 Hadley, Mark 436, 499
 Haeberli, Wilfried 188
 Haeckel, Ernst 69
 Hafele, Joe 104

INDEX DE NUME

Hahn, Otto 266
 Haile-Selassie, Yohannes 561
 Hajdu, Janos 350, 354
 Haldane, J.B.S. 280, 399
 Hale, George 549, 555
 Hales, Stephen 500
 Hall, David 79
 Halley, Edmond 151, 322, 363, 431
 Halpern, Jules 660
 Hamilton, William 90, 92
 despre altruism 9-12
 despre sex și evoluție 147-9, 150, 281, 285
 Hammer, Claus 316
 Hanlon, Lorraine 519
 Hanssen, Ramon 214
 Harari, Haim 329
 Hardy, Alister 81
 Harley, Calvin 456-7
 Harris, Harry 282
 Harrison, Michael 444
 Hartley, Brian 36
 Hartwell, Lee 141-2
 Harvey, Jeffrey 675
 Hasenknopf, Bernold 582-3
 Hashimoto, Takashi 129
 Hau, Lene 670
 Haussler, David 417
 Hawking, Stephen 62, 66, 341
 despre găurile negre 267-8, 385
 Haxby, William 528
 Hayashi, Kenshi 295
 Hayes, Jim 628
 Hayflick, Leonard 455, 457-9
 Hazard, Cyril 383
 Heath, Jim 372
 Hebb, Donald 510-2
 Heinrich, Hartmut 333-6, 338
 Heise, John 302, 304
 Heisenberg, Werner 41-2, 166
 Helfrich, Wolfgang 502
 Helin, Eleanor 156
 Helmi, Amina 308, 382
 Hempel, Gotthilf 56
 Henshilwood, Christopher 720
 Herschel, John 651
 Herschel, William 303, 486
 Hertz, Heinrich 99
 Hertzprung, Ejnar 651-2
 Hess, Harry 522
 Hess, Victor 613, 617
 Hetherington, Alistair 137

Heyerdahl, Thor 400-1
 Higgs, Peter 93-4, 99, 358, 667
 Hillaby, John 69
 Hildebrand, Alan 491
 Hirokawa, Nobutaka 130
 Hirsfeld, Ludwik și Hann 401
 Hitler, Adolf 41-2, 107, 361
 HM (pacient) 513
 Hodgkin, Dorothy 351
 Hofmann, Paul 301
 Holmes, Arthur 183
 Holmes, Kenneth 350
 Holst, Gustav 674
 Hood, Leroy 602
 Hoppa, Gregory 590
 Horvitz, Robert 531
 Hou Xianguang 299
 Howe, Rachel 554
 Hoyle, Fred 59, 194, 566, 571
 despre elementele chimice 238-9, 244
 despre starea staționară a universului 688, 691, 695
 Hubbell, Stephen 72-4
 Hubble, Edwin 257, 549
 Hubby, Jack 282
 Hubel, David 174
 Huber, Robert 367
 Huc, Ivan 582-3
 Huffman, Don 373
 Hulet, Randall 670
 Hulse, Russell 662, 685
 Hunt, Tim 142
 Hurst, Jane 722-3
 Huxley, Aldous 146
 Huxley, Thomas Henry 216
 Huygens, Christiaan 586

I

Ibrahim, Alaa 659
 Iijima, Sumio 374
 Ikezi, Hiroyuki 190
 Imai, Hiroshi 539
 Imanishi, Kinji 160-1
 Imbrie, John 628
 Imo (mămușă) 160-1
 in't Zand, Jean 302
 Ingenhousz, Jan 364
 Ingvar, David 449-50
 Inoue, Yoshihisa 128
 Itani, Jun'ichiro 161
 Ivanova, Tanya 49

J

Jablonka, Eva 544
 Jacob, Francois 278-80, 286, 393
 Jacob, Maurice 646, 650
 Jantschik, Rüdiger 333
 Jeans, James 194
 Jefferson, Thomas 699
 Jeffreys, Alec 15
 Jenner, Edward 635, 698
 Jerne, Niels 639
 Jewitt, David 153
 Jin, Deborah 671
 Johanson, Donald 560
 Joughin, Ian 185
 Joyce, James 326

K

Kaharl, Victoria 53
 Kajita, Takaaki 577
 Kakutani, Tetsuji 541
 Kamerlingh Onnes, Heikt 668
 Kanamori, Hiroo 209-10
 Kandel, Eric 513-4
 Kant, Immanuel 711
 Kapitza, Peter 668
 Kaplan, Michael 175
 Kasparov, Gary 428
 Kaye, Danny 102
 KE (familie de pacienți) 723
 Keating, Richard 103-4
 Keats, John 677
 Keeling, C. Dave 132-6
 Keller, Patrick 502
 Keller, Uwe 152, 155
 Kemper, Ciska 520
 Kennedy, Donald 633
 Kent, James 417
 Kepler, Johannes 240-1, 500, 677, 714
 Kerr, John 531
 Kerr, Roy 388
 Ketterle, Wolfgang 216, 670-1
 Khush, Gurdev 120
 Kibble, Tom 678
 Kielan-Jaworowska, Zofia 491-2
 Kimura, Motoo 72, 282, 292-6
 King, Marie-Claire 511
 Kipling, Rudyard 505
 Kirchhoff, Gustav 534
 Kirk, Thomas 666
 Kirkby, Jasper 489
 Kirkwood, Thomas 458

INDEX DE NUME

Kirschvink, Joseph 271-3, 301
 Kirshner, Robert 507
 Kirsten, Till 575
 Kissel, Jochen 572-3
 Kleppner, Daniel 670
 Knaff, John 247
 Kneib, Jean-Paul 509
 Koch, Arthur 296
 Koeberl, Christian 466
 Köhler, Georges 639
 Kolata, Alan 228
 Kolb, Edward 258
 Koonin, Steven 486
 Koornneef, Maarten 27-9, 31
 Kopell, Nancy 622-3
 Kosovichev, Alexander 553
 Kouveliotou, Chryssa 659
 Kovac, John 343
 Krammer, Peter 532
 Krätschmer, Wolfgang 373-4
 Kropotkin, Peter 6, 9, 11
 Kroto, Harry 371-2, 374
 Krueger, Franz 572
 Kuhn, Thomas 217, 219, 624
 Kukla, George 626, 628
 Kuramoto, Yoshiki 621-2
 Kurland, Charles 39
 Kuroda, Reiko 129, 131
 Kyle, David 48

L

Labov, William 478-83
 Lai, Cecilia 723
 Laibach, Friedrich 27
 Laing, Philip 438
 Lamarck, Jean-Baptiste 280, 542-4
 Lamb, Hubert 629-31
 Lamb, Marion 544
 Lancet, Doron 569
 Landau, Lev 21
 Landau, William 448
 Lander, Eric 419
 Landsca, Christopher 247
 Landsteiner, Karl 640
 Laplace, Pierre-Simon 711
 Lascarides, Alex 429
 Lashley, Karl 511-2
 Laskar, Jacques 446-7, 593
 Lassen, Niels 449
 Lauterbur, Paul 450
 Lawrence, Jeffrey 38
 Lawton, John 75
 Le Sage, Georges-Louis 191

Leakey, familia 559-60
 Leakey, Richard 560-1
 Leavitt, Henrietta 655
 Lederman, Leon 96
 Lee, David 668
 Lee, Tsung-Dao 20
 Léger, Alain 536
 Lehn, Jean-Marie 582-4
 Lehrer, Tom 2, 102
 Leighton, Robert 549-50
 Lemaître, Georges 59, 260
 Lemke, Peter 187
 Lenneberg, Eric 722
 Leonardo da Vinci 484, 490
 Leung, Hei 123
 Levi, Primo 236-7
 Levi-Montalcini, Rita 174
 Lewis, Edward 251, 253
 Lewontin, Richard 282
 Libby, Willard 218, 701
 Liebscher, Dierck-Ekkehard 692
 Linde, Andrei 61, 66, 695
 Lindegren, Lennart 652
 Lindquist, Susan 221, 286-7
 mecanisme evoluției 542-4
 conducători din prioni 604
 prioni 547, 603-4
 Lindsey, Charles 552
 Linnaeus, Carolus 283
 Linney, Alf 17
 Linsley, John 615
 Liu, Yan 372
 Llewellyn Smith, Chris 330
 Lockshin, Richard 530
 Lockwood, Mike 707
 Lombardo, Michael 11
 London, Fritz 668
 Lorenz, Edward 442
 Lorenz, Konrad 8
 Lorimer, Duncan 662
 Lorus, Claude 134-5
 Lotti, Rusty 334-6
 Lounasmaa, Olli 668
 Love, Geoff 634
 Lovelock, James 221, 274-5, 715
 Lucian din Samosata 47
 Lucy (hominid) 560
 Lugo, Aldo 71
 Lugowsky, Włodzimierz 566, 572
 Luria, Alexander 451-2, 515-6
 Luu, Jane 153

Lwoff, André 279, 393
 Lyell, Charles 321
 Lynden-Bell, Donald 384
 Lisenko, Trofim 17, 394

M

Maalin, Ali Maow (pacient) 697
 MacArthur, Robert 70
 Macaulay, Thomas 697
 McBreen, Brian 519
 McCartney, Paul 515
 McClintock, Barbara 283, 540-1, 548
 McCord, Thomas 520
 McDonald, Art 578
 MacDonald, Gordon 210
 McGrew, William 161
 McGuire, James 14
 McKenzie, Dan 523, 737
 McKerrow, Stuart 179
 Macino, Giuseppe 411-2
 Magueijo, João 695
 Majerus, Michael 444
 Malthus, Thomas 119, 233-5
 Manabe, Syukuro 631-2
 Mandelbrot, Benoit 691
 Manokaran, Navaratnam 71
 Mansuy, Isabelle 515-6
 Maradona, Diego 373
 Marcus, Rudolph 366
 Marcy, Geoffrey 713
 Margulis, Lynn 32-5, 149-50, 275
 Marinatos, Spiridon 312
 Marsch, Eckart 734
 Marsden, Brian 155
 Marsden, Richard 706
 Marsh, Nigel 488
 Martin, William 291-2
 Martinec, Emil 675
 Martyn, Hans-Ulrich 436
 Marx Brothers 258
 Marx, Karl 6
 Mason, Helen 733
 Masui, Yoshio 141-2
 Mather, John 340
 Matsuzawa, Tetsuro 162
 Matthews, Drummond 521-3
 Matuyama, Motonori 522
 Maxwell, James Clerk 220, 666
 teoria electromagnetică 99, 101, 356-7, 660

INDEX DE NUME

May, Robert 70, 443
 Maynard Smith, John 147, 149
 Mayor, Michel 710
 Mead, Margaret 215
 Meadows, Dennis 234
 Meitner, Lise 266
 Mellanby, Kenneth 69, 73
 Melville, Herman 530
 Mendel, Gregor 280, 394–5
 Mendeleev, Dmitri 238–9
 Mendelssohn, Felix 469
 Menozzi, Paolo 402
 Mersenne, Marin 673–4
 Metchnikoff, Ilya 636–8
 Mewes, Hans-Werner 295
 Michel, Hartmut 366
 Michel, Helen 320
 Michell, John 385
 Miescher, Friedrich 392
 Milankovitch, Milutin 218, 627–9
 Milgrom, Mordechai 439
 Miller, David 95
 Miller, Stanley 567
 Miller, Thomas 318
 Mills, Robert 357
 Milstein, César 639
 Minsky, Marvin 427
 Mirkin, Chad 16
 Möbius, August 498
 Molière 531
 Molino, Jean-Francois 74
 Monaco, Anthony 723
 Monod, Jacques 279, 393–4
 Montagnier, Luc 638
 Moore, Peter 348
 Moorhead, Paul 455
 Morabito, Linda 589
 Morfill, Gregor 192–3
 Morgan, Jason 523, 736–7, 739
 Morgan, Thomas Hunt 251, 253
 Morrison, Philip 688, 690, 696, 716
 Mott, Nevill 500, 671
 Müller, Alex 669
 Muller, Richard 463
 Mullis, Kary 397
 Munakata, Nobuo 295
 Munk, Walter 203, 207
 Musset, Paul 359

N

Nagy, Ferenc 110
 Nambu, Yoichiro 93–4

Nance, Damien 179
 Navarro-Gonzalez, Rafael 274
 Nefedov, Anatoli 192
 Nesbitt, Harry 123
 Neufeld, David 538
 Newman, Dianne 57
 Newton, Isaac 88, 151, 191
 teoria gravitației 218, 431–3, 437–8, 685–6
 Nierenberg, William 246
 Nimmo, Francis 588
 Nirenberg, Marshall 395
 Nishida, Toshisada 161
 Nishikawa, Shin-Ichi 113–4
 Noller, Harry 348
 Nonaka, Shigenori 130
 Norberg, Jon 289–90
 Nørgaard-Nielsen, Hans Ulrik 256
 Noss, Reed 598
 Novikov, Igor 339, 498–9
 Noyori, Ryoji 125–6
 Nurse, Paul 142
 Nüsslein-Volhard, Christiane 251–4

O

O'Brien, Sean 372
 O'Brien, Stephen 493
 O'Farrell, Patrick 607
 O'Neill, Gerard 48
 Oakley, Kenneth 159
 Ochman, Howard 38
 Odum, E.P. 69
 Oeschger, Hans 135, 334–5, 337
 Ogawa, Seiji 450
 Ohno, Midori 295
 Ohno, Susumo 282, 295
 Ohta, Tomoko 282, 296–7
 Okubo, Susumu 18, 22
 Olovnikov, Alexey 456
 Oort, Jan 151, 534
 Oparin, Aleksandr 568
 Opdyke, Neil 627–8
 Öpik, Ernst 151
 Oppenheimer, Robert 42
 Orrell, David 445
 Orwell, George 68
 Osborne, Barbara 531
 Osheroff, Douglas 668
 Ostrom, John 224
 Ott, Thomas 389

P

Pääbo, Svante 399, 558–9, 565, 724
 Pachauri, Rajendra 633
 Pagel, Bernard 244
 Palade, George 680–1
 Paresce, Francesco 656
 Park Hong-Seog 565
 Parker, Eugene 703, 709,
 Parker, Janet (pacient) 697
 Parwaresch, Reza 455
 Passarino, Giuseppe 5f 406
 Pasteur, Louis 124–8, 220, 635
 Pati, Jogesh 647
 Pauli, Wolfgang 165
 Pauling, Linus 165
 Pavlov, Ivan 11–2, 511–2
 Pedersen, Charles 581
 Peebles, James 692
 Penck, Albrecht 626
 Penfield, Glen 460–1
 Penfield, Wilder 510
 Penrose, Roger 171, 268, 385, 432
 Penzias, Arno 338
 Perl, Martin 329
 Perlmutter, Saul 257
 Perrin, Jean 614
 Perutz, Max 392, 397
 Petru cel Mare 17
 Pfeiffer, Tom 313
 Phaloeun, Chan 123
 Phipps, James (pacient) 699
 Piaget, Jean 429
 Piazza, Alberto 401–2
 Piazzzi, Giuseppe 152
 Picasso, Emilio 105
 Pickford, Martin 561
 Pierce, John 672–3
 Pilachowski, Catherine 237
 Pilbeam, David 562
 Pincher, Chapman 42
 Pincus, Gregory 107
 Pinker, Steven 721
 Planck, Max 164, 344, 666–7
 Plasterk, Ronald 413
 Podolsky, Boris 167
 Poe, Edgar Allan 393
 Poincaré, Henri 441–3, 446
 Polacco, Erseo 430
 Politzer, David 327
 Pontecorvo, Bruno 576
 Popper, Karl 217

INDEX DE NUME

Porter, Rodney 640
Postgate, John 274
Pounds, Ken 386
Pourquié, Olivier 254
Powell, Cecil 325
Price, Tom 269
Priester, Wolfgang 384, 692
Prusiner, Stanley 221, 601-2
Puget, Jean-Loup 344, 536
Pitagora 102, 673

Q

Qin Dahe 188
Queitsch, Cristine 287, 548
Queloz, Didier 710, 713
Quinn, Helen 24

R

Rabelais, Francois 359
Rabi, Isador 166
Raichle, Marcus 449, 454
Rainey, Paul 290
Rakic, Pasko 175
Ramakrishnan, Venki 348
Raulin, Francois 570
Raup, David 323-4, 496
Reber, Grote 534
Rees, Martin 384, 695-6, 718
Reeve, Christopher 115
Reeves, James 306
Reinitzer, Friedrich 502
Renfrew, Colin 407, 702
Renne, Paul 472
Reppert, Steven 110
Revelle, Roger 133, 630
Reynolds, Wanda 564
Richardson, Robert 668
Richter, Burton 264, 328
Richter, Charles 209
Rivera, Oswaldo 228
Riveros Caballero, Mailén 596
Roberts, Richard 396
Rochester, George 326
Rogachev, Konstantin 203
Rohm, Ryan 675
Romano, Nicoletta 412
Romanowicz, Barbara 739
Roosevelt, Franklin 41
Rosen, Nathan 167
Rotblat, Joseph 43
Rovelli, Carlo 435
Rowan-Robinson, Michael 311
Rubbia, Carlo 96, 98, 360

Rubenstein, Edward 128
Rubin, Vera 506
Ruddiman, William 332
Ruelle, David 441-2, 446
Ruhlen, Merritt 481
Rummel, Reiner 528
Russell, Bertrand 43
Rutherford, Ernest 284
Rutherford, Suzanne 287, 545
Ryle, Martin 218, 222, 717

S

S (pacient) 515-6
Sabatier, Daniel 74
Saenger, Wolfram 368-9
Sagan, Carl 498, 717
Sagan, Dorion 33
Sagdeev, Roald 587
Sakaki, Yoshiyuki 565
Saharov, Andrei 17-9, 22-6, 647
și armele nucleare 43-5
Sako, Masao 388
Salam, Abdus 355-8, 647
Salamini, Francesco 291-2
Salpeter, Edwin 385
Sanger, Fred 397-8, 418, 605
Sanger, Margaret 107
Sangster, Todd 548
Sargent, Wallace 264
Sato, Noriyuki 254
Saunders, Andrew 472
Saunders, Steve 587
Schell, Josef 196
Scherhag, Richard 629
Scherrer, Philip 552
Schmid, Carl 564
Schmidt, Brian 257-8
Schmidt, Maarten 383-4
Schmincke, Hans-Ulrich 737
Schneider, Jochen 350
Schödel, Rainer 389
Scholey, Jonathan 143
Schönfelder, Volker 242
Schrieffer, John Robert 668
Schrödinger, Erwin 171, 218
Schulman, Edmund 702
Schutz, Bernard 687
Schwann, Theodor 679
Schwarz, Joseph 675
Schwarzschild, Karl 385
Schwinger, Julian 356
Scotese, Christopher 179
Scoville, William 513

Seiberg, Nathan 649
Sellers, Piers 79-80
Semino, Ornella 406
Sengor, Celal 176-8
Sepkoski, Jack 323
Séraphin, Bertrand 609
Serenio, Paul 226
Shackleton, Nicholas 627-8
Shakespeare, William 10, 459, 517, 653
Shannon, Claude 84-6
Shapiro, Irwin 432
Sharp, Phillip 396
Sharpless, Barry 126
Shaw, George Bernard 478
Shelley, Mary 313
Shelton, Ian 240
Shkolovskii, Iosif 717
Shlyakhter, Alexander 263
Shoemaker, Eugene 155-6, 461-2, 464
Simons, Kai 681-3
Simpson, Gordon 475-7
Simpson, John 703-4, 706
Singer, Fred 630
Skinner, Burrhus F. 428
Skulachev, Vladimir 533
Smalley, Rick 372-4
Smith, Adam 486
Smith, Alan 179
Smith, Hugh 619
Smith, William 320
Smoot, George 340, 343
Soddy, Frederick 284
Solter, Davor 115
Somerville, Christopher 28
Sorby, Henry 519
Soule, Michael 598
Sperry, Roger 173, 175
Spiegelman, Sol 48
Spielberg, Steve 478
Spohn, Tilman 592
Stakes, Debbie 53
Stalin, Joseph 394
Stefansson, Kari 422-3
Steinberger, Rachel 272
Steinhardt, Paul 62
Steitz, Thomas 348
Stern, Alan 154
Stetter, Karl 55
Stevens, Leroy 114-5
Stevenson, Robert Louis 383, 576
Stewart, Ian 443

INDEX DE NUME

Stone, Ed 589
 Stothers, Richard 471
 Streisinger, George 253
 Strogatz, Steven 621
 Strom, Richard 381
 Suess, Eduard 177
 Suess, Hans 133, 556, 702
 Sugiyama, Yukimaru 161
 Sulston, John 531
 Sumner, Tim 438
 Sumper, Manfred 584
 Sunyaev, Rashid 344
 Superti-Furga, Giulio 610
 Suppiluliumas I (pacient) 697
 Sutton, Graham 630
 Svensmark, Henrik 487-8
 Swallow, John 202
 Sweet, Henry 478
 Swift, Jonathan 307
 Sykes, Bryan 401, 404, 406
 Szathmary, Eors 149

T

Tait, Peter 93
 Tajfel, Henri 7-8
 Takahashi, Joseph 110
 Takens, Floris 441-2
 Tanaka, Yasuo 387
 Tauber, Hans-Lukas 452
 Tauc, Ladislav 514
 Taylor, Joseph 662, 685
 Taylor, Richard 56
 Teller, Edward 45
 Termin, Howard 395
 Terborgh, John 597
 't Hooft, Gerard 358-9, 361
 Thaddeus, Patrick 535
 Thal, Johannes 27
 Thatcher, Margaret 95
 Theodosius, Dionysia 175-6
 Thom, René 440-1
 Thomas, Hubertus 192
 Thomas, Lewis 215, 250
 Thomson, George 164
 Thomson, J.J. 103, 727
 Thomson, James 115
 Thorne, Kip 498
 Thurber, James 322
 Ting, Sam 328-9
 Tintoretto, Jacopo 380
 Title, Alan 733
 Tito, Dennis 49
 Tolkien, J.R.R. 378
 Tomonaga, Sin-Itiro 356

Totsuka, Yoji 580
 Toumaï (hominid) 563
 Townshend, John 78
 Travisano, Michael 290
 Trenberth, Kevin 246
 Trivers, Robert 10, 12
 True, Heather 287, 547
 Tsiolkovski, Constantin 48
 Tsuneta, Saku 731
 Tsytoich, Vadim 193-5
 Tucker, Compton 78-81
 Tulaczyk, Slawek 185
 Tupa'ia (canoist polinezian)
 400
 Turco, Richard 489
 Turing, Alan 84, 87
 Turner, Michael 259
 Twain, Mark 651
 Tycho Brahe 240-1

U

Updike, John 575
 Urey Harold 322, 567

V

Vale, Ronald 682
 Valentine, James 300
 Valtaoja, Esko 391
 van Allen, James 729
 van Andel, Tjeerd 53
 van de Hulst, Henk 534, 539
 van der Meer, Simon 360
 van der Waals, Johannes 261
 van Dishoeck, Ewine 539
 van Eyken, Tony 728
 vanGeel, Bas 136, 336
 van Leeuwen, Floor 652
 Van Montagu, Marc 196
 van Paradijs, Jan 303
 van Rood, Jon 640
 van Valen, Leigh 90
 van't Hoff, Jacobus 125, 371
 Vargha-Khadem, Faraneh 722
 Veltman, Martin 358
 Vening Meinesz, Felix 527
 Venkatesh, Byrappa 408-9
 Venter, Craig 29, 118, 410
 și genomul uman 416-9,
 421-2
 Verfaillie, Catherine 116
 Verfaillie, Hendrik 201
 Vernadsky, Vladimir 273
 Vine, Fred 522-4
 Visscher, Henk 138
 von Neumann, John 84

W

Wada, Akiyoshi 418
 Waddington, Conrad 543-4
 Waelkens, Christoffel 518
 Wagner, Friederike 137-8
 Walcott, Charles 297-9, 300
 Waldegrave, William 95
 Walker, Alan 560
 Walker, Gilbert 245-6
 Waters, Rens 518
 Watson, Alan 616
 Watson, James 392-3, 419
 Watson, Robert 633
 Wegener, Alfred 56, 177
 Weigel, Detlef 475
 Weinberg, Steven 60, 218,
 358, 647
 Weinert, Ted 139
 Weinheimer, Christian 579
 Weinreich, Uriel 480
 Weischaus, Eric 251
 Weiss, Paul 173
 Welland, Mark 375
 Wells, H.G. 166
 Wharton, David 58
 Wheeler, Joe 41-2
 Wheeler, John 264, 266, 385,
 433
 natura spațiu-timpului 433,
 498
 arcele nucleare 41
 Whipple, Fred 151-2, 155
 Whiten, Andrew 161
 Whittington, Harry 298
 Wickner, Reed 603
 Wiemann, Carl 670
 Wiesel, Torsten 174
 Wilde, Jane Francesca 88
 Wilde, Simon 569
 Wilkins, Maurice 393
 Wilmut, Ian 144-5
 Wilson, Alexander 136
 Wilson, Allan 402-5, 564
 Wilson, Edward 8, 70
 Wilson, Robert 338
 Wilson, Tuzo 523, 736-7
 Winfree, Arthur 621
 Wingham, Duncan 185
 Winglee, Robert 51
 Wisdom, Jack 446
 Witt, Horst Tobias 368
 Witt, Ingrid 369
 Witten, Edward 434, 675, 677
 Wittmann, Heinz-Günther 347

INDEX DE NUME

Woese, Carl 37–8
 Wolszczan, Alex 662, 712
 Womerlsey, John 98
 Wood, Bernard 563
 Woodward, Robert 581
 Worden, Paul 438
 Wright, Sewall 280, 293
 Wu, Chien-Shiung 20, 26
 Wunsch, Carl 207–8
 Wyllie, Andrew 531

X

Xu Xing 224

Y

Yang Haunming 117–8
 Yang, Chen Ning 20, 357
 Yeomans, Donald 153
 Yonath, Ada 347
 Yorke, James 443
 Yu, Fangqun 489
 Yukawa, Hideki 166, 325–6
 Yusupov, Marat și Gulnara
 347

Z

Zassetsky, Lev (pacient) 451
 Zeeman, Christopher 549

Zel'dovich, Yakov 344, 385,
 498
 Zender, Joe 463
 Zhou, Liming 81
 Zhu Youyong 121
 Zigas, Vincent 599
 Zinner, Ernst 239
 Zouni, Athina 368
 Zuckerman, Solly 160
 Zwicky, Fritz 504, 657

INDEX DE SUBIECTE

Numerele paginilor scrise aldin se referă la aparițiile principale. Numerele acoperă întreg subiectul în fiecare caz, chiar dacă subiectul nu este tratat în mod direct în fiecare pagină.

- A**
 acizi nucleici *vezi* ADN și AR-N
 adaptarea globală (teoria evoluției) 9–10
 adenină 393
 ca moleculă premergătoare vieții 572
 ADN (acid dezoxiribonucleic) 280, 286, 345, 351, 392–6, 415, 416
 ADN egoist 420
 ADN inactiv (junk) 408, 410, 420
 ADN mitocondrial (gene maternel) 403–6
 ADN recombinant 196–7
 citirea ADN-ului 397–8, 418, 422–3
 comparații om-primate 564–5
 cromozomii Y 406
 elemente mobile 541
 evaluări ale genomurilor 28, 122, 408, 410–1, 606
 foarfeci pentru ADN (enzime de restricție) 197
 în diviziunea celulară 140, 454–6
 în embrioni 254
 în moartea celulei 533
 multiplicare 398
 oameni pentru a duce ADN-ul în spațiu 48
 obținut din fosile 558–9, 564
 palindrom 410
 pescuitul genelor 414
 plasmide 196
 reparare 149
 secvențe Alu 410, 564
 transcriere inversă 36
 Z-ADN (răsucire în sens invers) 126
 vezi și gene
 ADN în ecologie 291–2
 ADN pus pe muzică 295
 ADN-ul mitocondrial (gene maternel) 403–4
 agresivitate 6–14, 481, 517, 625
 aisberguri 183, 189, 332–5, 338
 pe Titan 591
 alegerea mirosului de către limonenă 127
 algele verzi-albastre (cianobacterii) 32–3, 37–8, 270–4, 368–9, 411
 altruism 6–14
 în moartea celulei 533
 altruismul reciproc (teoria evoluției) 10–12
 aminoacizi 196, 352–3, 395, 602, 680
 formarea proteinelor 345–9
 modificări în mutații 37, 724
 secvențiere 605–6
 chiralitate la 126–8
 amprenta ADN 15–7
 animale transgenice 197
 ansambluri supramoleculare 581–5
 antene care absorb lumina (fotosinteză) 369
 antibiotice 347, 581
 rezistență la 35–6, 196–9, 200, 348
 anticeas 499
 anticorpi monoclonali 639
 anticorpi și antigene *vezi* sistemul imunitar
 antielectroni *vezi* pozitroni
 antigravitație 60, 64, 258, 261, 362, 684
 antimaterie 17–26
 chiralitate 127
 combustibili pentru rachete 51
 în crearea Universului 64–5, 503, 646–7
 în radiații cosmice 614
 în teoriile fizicii 166, 356
 antiprotoni 24, 26
 acclerați 97–8, 360–1
anything goes—se acceptă orice —(filozofia științei) 217
 apa în formele proteinelor 352
 apa în spațiul cosmic 535–40
 în lunile lui Jupiter 586, 590
 în Sistemul Solar 153, 520, 539
 livrare către Pământ 538, 569
 pe Marte 588, 593, 715
 apă în nori 62, 194, 490
 apoptoză (moartea utilă a celulei) 175, 530–3
 arabidopsis (plantă) 27
 bolile la 89, 91–2, 148
 chiralitate 129
 experimentul culturilor transgenice 198
 gene pe bază de dioxid de carbon 137
 genom 27–32, 408, 410–4, 421, 594
 înflorire 474–6
 monștri optimiști 541, 548
 arborele populațiilor umane 402–4
 arborele vieții 32–40, 293
 Arhipelagul Guri (topire ecologică) 596–7
 arici de mare (*Strongylocentrotus*) în cercetare 142, 251, 253–4, 415
 arme biologice 698–701
 arme nucleare 41–6, 189, 205, 211, 267, 525, 617–8
 împotriva asteroizilor 49, 157, 267
 ARN (acid ribonucleic) 393, 572
 ca gene 36, 395, 568
 dublu catenar 412–3
 enzime ARN (ribozime) 568–9

INDEX DE SUBIECTE

- grupuri decodificatoare 345-8
 mesager 395-6, 412, 606
 ribozomal (ARNr) 37, 347, 568
 asteroizi 151-8
 vezi și extincții și impacturi
 astronaucică 47-52, 104, 717
 explozii solare accidentale 728-9, 731
 probleme ale sistemului imunitar 642-3
 propulsie magnetică 504
 atractori stranii (teoria haosului) 441-3, 446
 aur 239
 bacterii 57, 276
 topirea în urma impacturilor cosmice 462-3
 aurore (Lumini nordice și sudice) 726-8, 730
 australopiteci 559-60, 563
 autoasamblarea și autoorganizarea moleculelor 373, 568-9, 582-4, 603-4
 auto-splicing în ARN 568
 azot 269, 586, 612, 701
 extraterestru 153, 388, 535, 570, 590-1
 fixare 75-6, 120, 274
- B**
 Banda lui Möbius (topologie) 498-9
 bazine sedimentare (geologie) 178, 181, 472
 bărci de salvare 6
 beriliul radioactiv-arhiva activității solare 336-7
 Big Bang 1, 258, 566, 663, 690, 694-6
 dovezi 219, 338-44, 688, 691-2
 elemente 236
 proponeri de corzi cosmice 678
 sparticule 612-14, 615
 supa de quarci 663
 teorii despre 18, 59-68, 95, 258, 343, 433
 unde gravitaționale 687
 Big Crunch 257-8, 694
 biochimia alcoolului 4-5
 biodiversitate 68-77, 288, 290-1
 în gene 291-2, 415
 bioetică 144, 150, 197, 421
 biogeografie insulară (ecologie) 70-1
 bioinformatică 605
 baze de date 416, 608, 610
 biomatematică 440, 443
 în ecologie 70-2, 289-90
 în teoria cerebrală 453, 620-23
 în teoria evoluției 10, 92, 148, 279-80, 294-96, 394
 biosfera 48, 68
 din subteran 57
 observații spațiale 77-83
 proteomul 276
 biți (digiți binari) 84-8
 blobi (separarea fibrelor polimerice) 501
 boala Alzheimer 115, 272, 423, 532, 603
 boala vacii nebune (encefalopatie spongiformă la bovine BSE) 547, 598, 601, 603, 636
 boli autoimune 532, 636, 639
 bolile plantelor 88-92, 121-2, 195, 625
 bombe cu hidrogen (bombe H) 42, 267
 bosoni (particule materiale asociabile) 666-72
 bosonii Higgs (creatori de masă) 93-9, 331, 358, 361, 503, 667
 buburezele - prezicătoare ale schimbării anotimpurilor 444
 buckysfere (fullerene) 370-8, 520, 537
- C**
 calculatorul cuantic 86-8, 672
 Calea Lactee 310, 340, 380, 534, 689, 710
 coliziuni cu alte galaxii 381-2
 expansiunea umană în Calea Lactee 50, 197, 428
 gaură neagră centrală 388-9, 615
 materia neagră 505-7
 viața în Calea Lactee 715-8
 vezi de asemenea radiații cosmice, elemente, molecule în spațiu, stele neutronice și stele
 Callisto (luna lui Jupiter) 590
 calote (platforme) glaciare 135, 182-9, 332-5, 627-8
 banchize de gheață 183, 185
 dioxid de carbon 135
 interacțiuni vulcanice 313, 315
 îngrijorări cu privire la vestul Antarctic 184-5, 316
 câmpul magnetic al Pământului 237, 487, 614, 616, 702-8, 726-32
 inversarea lui 522, 524, 627
 câmpul magnetic al Soarelui 138, 487-8, 549-57, 614, 616, 703-7, 729-34
 canale ionice în activitatea cerebrală 238, 514, 581
 cancer bacterian „crown gall” (Agrobacteria) în inginerie genetică 195-6
 cancer, erori moleculare în
 cancer 142-3, 272, 541
 legat de imortalitate 454, 456-7
 prin retrovirus 395-6
 capacitatea de a supraviețui 201, 230, 233, 235
 în spațiu 50
 carbon 237-8, 370-8, 537-8
 combustie în supernove 241
 diamante 466, 520
 în apropierea găurilor negre 388
 magneți de carbon 377
 carbon radioactiv 337
 datate cu carbon radioactiv 133, 487, 701
 carbonați 274
 în spațiu 519-20
 carne de vânat 232-3
 catalizatori organometalici 126, 129
 călătorii la viteze mari (relativitate specială) 100-6, 330, 497
 ceas al segmentării (embriologie) 255
 ceasuri biologice 105, 107-13

INDEX DE SUBIECTE

- la celule 455, 683
la embrioni 144, 255
la plante 473-4
ceasuri biologice mareice (de 12,4 ore) 108, 113
Cefeidele—stele variabile 655-6
celule B (sistemul imunitar) 637-8, 641
celule stem 113-7, 175, 250
celule stem pluripotente 114, 116
celule 345, 352-3, 369, 403, 416
 anticongelante 58
 cele mai mici 606
 celule cancerigene 396, 454, 457, 541
 celule germinative și sex 145-6, 149
 celule nervoase 172-6, 238, 453-4, 510-5, 581, 624
 celulele plantelor 30-31, 195-6, 364, 367, 473
 ciclul celulei 139-43
 clonare 144-5
 controlul genelor 393-4, 396, 543-4, 546-7, 723
 culturi celulare (ciclul de viață) 454-6
 efecte prionice 602-3
 evoluție 32-40, 411-2, 418
 în embrioni 129-31, 249-55
 în sistemul imunitar 565, 636-43
 moartea celulei (apoptoză) 89, 253, 530-3
 origini 127, 568, 583-4
 ritmuri sincronizate 618-23
 traficul celular 346, 349, 606, 609-10, 679-83
 vezi de asemenea celule stem
celulele dendritice (sistemul imunitar) 638, 642
celulele T (sistemul imunitar) 638, 641, 643
cercetări gravitaționale (geostiintă) 526-8
 descoperirea craterelor de impact 461
cereale 117-24
chaperoni în formarea proteinelor 352, 545, 603
chimia uitării 515-6
chiralitate 21, 124-31, 371
 schimbări în mașina timpului 499
ciclul carbonului 132-9, 204, 632-3
ciclul fosforului 273, 276, 314
ciclul menstrual (ceas biologic) 107-8
ciclul petelor solare 486-7, 552-7, 703
cimpanzei 233, 600
 comparații cu oameni 560-5
 comportament 159-63
 lipsa genei vorbirii 724-5
cipuri genetice (micro-matrici de oligonucleotide) 16, 641-3
clonare 115, 141, 144-50, 250
 clonarea genelor 28
 în sistemul imunitar 639
 linii celulare în embriologie 253
clorofila în fotosinteză 364-9
clorofila privită din spațiu 78-9, 82
clorsulfuron (erbicid) 198
CMH structuri glicoproteice (complexul major de histocompatibilitate) 640, 643
coașa ouălor subțiată de pesticide 69
cochilii, formarea animalelor 124, 131, 583-4
coduri zip în traficul celular 609, 680-1
Cometa Halley 151-3, 322, 446, 572, 705
comete 50, 151-8
 în originea vieții 569-73
 vezi de asemenea extincții și impacturi
comete solare 154-5
comportamentul particulei Z (curentul neutru) 357, 359-60
comportamentul primatelor 159-63
compuși ai carbonului 125-6, 365-6, 373-4
 în comete 152, 572
 în spațiul cosmic 534-40
pe Titan 570, 590
pentru originea vieții 566-73
chiralitatea lor 125-6
condensarea Bose-Einstein 93-4, 216
superatomi 164, 667, 669-72
condrule în meteoriți 519
conexiunile și reconexiunile cerebrale 12, 172-6, 426, 624
conservarea CP (conjugarea sarcinilor și paritatea) violarea invarianței CP 21-4
 vezi de asemenea violarea parității (P)
conservarea CPT (CP plus timpul) teste 25
constante cosmologice (gravitația repulsivă) 260-1, 618, 692
continentul Gondwana, fost supercontinent sudic 177
contractia musculară 682
mușchi artificiali 502
controlul climatului și al vremii 630
conul de creștere al fibrelor nervoase 173, 175
convecția în interiorul Pământului 525-6
convecția în interiorul Soarelui 551-3, 555-7
convergența disciplinelor 1, 59-60, 219, 272, 301, 400, 496, 502, 679
 convergența disciplinelor geos și cosmos 465-6, 484, 693-6, 708
coordonarea înotului de către undele progresive 622
copii de siguranță ale genelor 149
corzi cosmice 678
corzile pianului 673, 676
cosmologie de subsol (cum să-ți faci propriul univers) 67
creșterea în dimensiune a balenelor 495
creșterea populației 118-20,

INDEX DE SUBIECTE

- 122, 209, 278, 395, 629
 ca sistem dinamic 442-3
 Malthus despre 233-4
 cricket militarizat 8
 criosfera (crusta de gheață a
 Pământului) 182-9
 vezi de asemenea calote
 (platforme) glaciare
 criptate (molecule în formă de
 cușcă) 581-2
 criptobioză (suspendarea vie-
 ții) 58
 criptocromi (în ceasuri biolo-
 gice) 110, 474
 criptografie 86-7, 170
 cristale lichide 502
 culoarea mării 81-3
 culoarea pielii 402
 culorile stelelor 241, 539,
 651-2, 660
 cultura la primate 159-63
 culturi transgenice 195-201
 curba Keeling a creșterii nive-
 lului de CO₂ 134-5
 Curentul Circumantarctic 495
 Curentul Golfului 202-3, 207,
 332-3, 726
 Curentul Kuroshio 202
 Curentul Labrador 332
 Curentul Oyashio 203
 curenți de aer (jet stream) 248
 în ocean 203
 în Soare 552
 curenți oceanici 202-8, 245,
 248, 333, 400, 645
 curenți oceanici dirijați de
 marea 207-8
 efecte ale marilor 81,
 207-8
 cursa înarmării în evoluție
 88-92, 625
 cutremure 208-14, 312, 441,
 523, 588, 686, 733
 investigații ale interiorului
 Pământului 181, 526,
 738
 surse de energie 264, 357,
 471
- D**
 datorita oamenilor de știință de
 a fi sceptici 216
 deriva continentală 2, 176-82,
 218, 523-4
- efecte asupra evoluției 226,
 301, 492-5
 efecte climatice 207, 495
 deriva genetică în evoluție
 293, 401, 403
 descompunerea apei în dez-
 voltarea plantelor 34,
 270, 273, 363-70
 descoperire 215-23
 neplanificabilă 377-8
 descreșteri Forbush ale radi-
 ației cosmice 703
 despădurirea din Puerto Rico
 71
 deșeuri radioactive 263-4,
 684
 dialecte 479-82
 dinamică neliniară 446
 dinozauri 4-5, 223-7, 491,
 494-6, 558-9
 apariția unor dinozauri și
 schimbări ale acestora
 survenite în urma unui
 impact cosmic 225-6
 evoluția de la dinozauri la
 păsări 223-5, 227,
 541-2, 546
 extincția dinozaurilor în
 urma unui impact cosmic
 281, 318-21, 460-2,
 470, 625
 dinte pentru dinte (strategie)
 11-2
 dioxidul de carbon 4-5, 57,
 273-4
 absorbit de plante 79-80,
 82-3, 133, 364, 594-5
 în fotosinteză 28, 33, 57, 78,
 363-70, 594-5
 în miezuri de gheață 134-6
 măsurat cu ajutorul plantelor
 136-8
 monitorizare atmosferică
 132-6
 rol în climat 139, 234, 246,
 267, 628, 630-2, 644
 vezi și schimbări climatice
 disc de acreție (gaură neagră)
 384, 386
 discontinuitatea evoluției 282
 dispariția Mării Mediterane
 181, 311
 dispraxie (dificultăți de vor-
 bire) 722, 725
- distrugerea reciprocă asigurată
 (strategie) 44
 domesticirea culturilor 118-9
 domuri geodezice 370-2
 dorsale medio-oceanice 54,
 469, 521-2, 526-8,
 735-9
 fricțiunea mareică în zona
 dorsalelor 207
 drojdie 35, 39, 454, 456-7
 analiză proteică 608, 610
 coduri (poștale) zip 681
 diviziune celulară 140-1,
 156
 genom 295, 409, 415
 monștrii optimiști 296,
 603-4, 541, 547
 originile sexului 149
 transpozoni (gene săltărețe)
 541
Drosophila vezi mușculița de
 oțet
 dublarea intensității câmpului
 magnetic interplanetar
 707
 duplicarea genelor (în evolu-
 ție) 5, 122, 294-7
- E**
 $E = mc^2$ (energie și masă)
 100, 262-8, 617, 684
 eco-colonialism 231-2
 ecologie 595
 biodiversitate 68-77
 culturi transgenice 195-201
 ecologie cosmică 261
 ecologie umană 228-35
 ecosisteme în spațiu 48-50
 evoluție ecologică 288-92,
 624
 extincții 318-24
 extremofile 53-9
 geobiochimie 269-78
 observații ale spațiului
 77-83
 prădători 595-98
 ecologie forestieră 70-76, 90,
 232-3, 288, 291, 626
 conservare în Samoa 232
 efecte ale pierderii prădăto-
 rilor 595-8
 observații din spațiu 77-8,
 80-81, 82, 230-31
 ecologie umană 228-35

INDEX DE SUBIECTE

- vezi de asemenea* biodiversitate și prădători
 ecosisteme artificiale 75, 290-1
 pentru călătorii spațiale 50
 efectele cuantice ale călătoriilor în timp 437-9, 499
 efectele stării de imponderabilitate asupra sistemului imunitar 642-3
 efectul de domino în calculul cuantic 87
 efectul Fluture în previziunile meteorologice 444-5
 efectul Mercur (teoria haosului) 447
 efectul Milankovitch (ritmul
 de erelor glaciare) 447, 627-8
 efectul Sunyaev-Zeldovich (roiuri galactice și microunde) 344
 El Niño - fenomene climatice (ENSO) 82-3, 244-8, 315, 400, 486, 530
 electroencefalograme (EEG) 619, 622
 electroni 103, 141, 331, 381, 490, 503, 579
 acceleratoare 23, 97-9, 264, 328, 349, 361, 436
 efecte cuantice 86, 164-6, 667, 671
 forța electrică 356
 forța slabă 359-60
 în atomi 239
 în cristale 500-1
 în fotosinteză 364-70
 în legături chimice 371-2, 536
 în plasmă 191, 193, 664, 704-5, 727, 730
 în universul timpuriu 66, 339, 687, 689
 înrudire cu quarcii 329, 579, 646-7
 înrudirea cu fotonii 327, 355-6, 362
 înrudirea cu neutrinii 24, 329-30, 356-7, 574-8, 617, 646
 origine 60, 64
 perechi în supraconductori 93, 668
 supersimetrice 648
 solari 705, 707, 727
 spinul electronic 19, 166
 electronica moleculară 375
 elemente, origini în stele 190, 236-44, 263, 306, 518-9, 535, 652
 în Soare 534, 707
 eliberarea condiționată a deținuților 13-14
 embrioni 30, 249-55, 279, 296
 ceasuri biologice la 113, 255
 celule stem 113-7
 chiralitate 130-1
 clonați 144-5
 dezvoltarea creierului 172-3, 516
 influențe de mediu și evoluționiste 12, 301, 516, 540-8, 565
 moartea celulelor 530
 energie neagră 255-62, 618, 692-3, 695-6
 efecte asupra microundelor cosmice 343-4
 engleza populară 425
 entropie versus informație 86, 498
 enzima SOD (superoxid dismutaza) 272
 enzima telomeraza (pentru imortalitate) 454-5, 456-7
 enzime 4-5, 376, 393-4, 532, 567-9, 604, 680
 asocieri moleculare 582-3
 efecte globale (geobiochimie) 269-78
 evoluție 36-7
 efecte globale (geobiochimie) 269-73
 „foarfece” ADN (enzime de restricție) 196-7, 398
 formarea 126, 351-2, 545
 în plante 30-1
 lipozime 569
 ribozime 568
 enzime de restricție 196-8, 398
 epoca întunecată a Universului 690
 ere glaciare 183, 189, 218, 333-4, 337-8, 626-9
 efecte asupra vieții 71, 275, 324, 496, 559, 595, 720-1
 efecte oceanice 207
 erodarea pământului 462
 interacțiuni vulcanice 314, 316
 nivelul de dioxid de carbon 135
 următoarea eră glaciară 186, 628
vezi de asemenea ipoteza Bulgărelui de zăpada Pământ
 ereditate epigenetică (mai mult decât simple gene) 543-4, 547
 ereditatea islandezilor 423-4, 407
 eteri ciclici 581
 eukariote (cu nucleu celular) 32-5, 38-40, 57, 140-1, 574
 Europa (lună cu gheață și apă a lui Jupiter) 590-91, 715
 Eva din Africa (strămoși comuni) 403, 405, 558, 561
 evoluția Lamarckiană 542-4
 evoluția mamiferelor 90, 226, 278, 318-9, 421, 468, 491-6
 evoluția moleculară 32-40, 292-7, 353, 368
 evoluția primatelor 89, 421, 494-5, 564-5, 724-5
 exoni și introni (gene fragmentate) 396-7
 experimentul Klee-Kandinsky referitor la comportamentul de grup 7-8
 experimentul preriei Konza (Kansas) 80
 explozia cambriană (fosilele primelor animale apărute) 297-301
 explozii de raze gama 106, 302-6, 519, 624
 explozii magnetice 549, 730, 732
 explozii solare 519, 549, 552, 703, 727-8
 ca explozii magnetice 731-2
 pericolele particulelor energetice 727-8, 732, 734

INDEX DE SUBIECTE

- extincții în timpul evoluției
69–71, 281, 297–301,
318–24, 467–72, 625,
635
în timpul evoluției mamife-
relor 494, 496
în timpul evoluției oame-
nilor 69–71, 625
în timpul evoluției oame-
nilor primitivi 558,
560–1
extinderea fundului oceanic
522–3, 526–7, 738
extremofile (viața în medii
neobișnuite) 53–9
- F**
factorul de promovare a
maturizării (FPM) 141–2
factorul dezvoltării nervilor
174
falsificabilitate (filozofia știin-
ței) 217
familii de particule 24,
325–31, 646–9, 674
farmec (charm) (fizica parti-
culelor) 328–9, 664–5
charmoniu (particule J/psi)
329, 665
fenomene glaciare (perioade
răcoroase) 138, 189,
332–8, 556, 624
fermioni (particule nesociabile
de materie) 667–8, 671
fire realizate din prioni 604
fiziune nucleară 18, 238,
263–4, 266
vezi de asemenea arme
nucleare
fitocromi (detectori de lumină
din plante) 110
flori de mlaștină 73, 76
folosirea mașinilor timpului
672
fondul de microunde vezi fon-
dul cosmic de microunde
fondul de microunde cosmic
338–44, 678, 687,
688–93
efecte asupra radiațiilor cos-
mice 615
măsurarea accelerației cos-
mice 259
mișcarea relativă a
Pământului 508
prezis 18, 338–9
teoria inflaționistă 61–2, 67
foraminiferele ca arhive
climatice 626–8
forța Casimir a vidului 261–2,
363
forța de culoare în cromodina-
mica cuantică 64–5,
327–30, 362, 434, 663–4
forța electrică (electromagne-
tism) 193, 327, 362, 436,
667, 686, 694
constantă (dovezi africane)
264
electrodinamica cuantică
167, 356, 434
în Big Bang 60, 64
în Modelul Standard 330
în supersimetrie 646–8
în teoria relativității speciale
101–2
teoria măsurii 193–4
forța electronucleară (primor-
dială) 60, 63–4
forța electroslabă 64, 94, 327,
355–61, 362
forța intermoleculară van de
Waals 261
forța slabă (alchimie cosmică)
60, 64
particule (bozoni) W și Z
95, 327, 330, 357–61,
362, 667
forța de umbră în plasmă pră-
foase 190–1, 194–5, 363
forțe: indicatoare 362–3
fose oceanice (subducție) 55,
523, 526–8
în legătură cu vulcanii 178,
311, 314, 317
fotoni (particule de lumină)
95, 164, 331, 350, 362,
437, 675
ca bosoni 666–7
ca materie și antimaterie
330, 355, 357
experimentul cu fantă dublă
166
fotini (supersimetrice) 648
interferențe 168–71
în apropierea găurilor negre
386–7
în fotosinteză 364–5
fotosinteză 28, 82, 354,
363–70, 411, 594
efecte geobiochimice 34,
270
fugu (genomul lui) 408–10
fus de diviziune în diviziunea
celulară 143
fusta unei balerine (câmp
magnetic interplanetar)
729
fuziune nucleară 66, 372
elemente 237, 241, 503, 519
în nave spațiale 51, 267
în Soare și stele 237, 264,
356, 551, 578, 652
mașini cu fuziune 18,
189–90, 267
vezi de asemenea arme
nucleare
- G**
galaxii 219, 379–82, 498, 536,
690
accelerare 256–7
explozii stelare 243, 308–11
găuri negre în galaxii
383–91, 612, 615–6
recesiune 60, 656, 693
supernove 241, 256–7, 686
vezi de asemenea fondul
cosmic de microunde,
elemente, materie neagră,
roiuri de galaxii, explozii
de raze gamma și
Galaxia Calea Lactee
galaxii hiperactive din fizică
243, 308–11, 391
galaxii ultraluminose în
infraroșu (ulirg) 308
gângurit 426
Ganymede (lună a lui Jupiter)
590
gâtul girafelor în teoria evolu-
ției 542
gazul interstelar în Sistemul
Solar 707–8
găuri de vierme în
spațiu–timp 52, 497–9,
618
găuri negre 383–91, 433, 437,
509, 684
ca surse de putere 267–8
creația zilnică în exploziile
de raze gamma 305
în materia neagră 506
primordiale 381, 390

INDEX DE SUBIECTE

surse de radiații cosmice 615
 gen (lingvistică) 482
 gena reverstranscriptaza telomerazei umane 457
 gene **392–400**
 vezi de asemenea cereale, ADN, genomuri și mecanisme ale evoluției
 gene de rezistență în plante **88–92**
 gene MADSbox (gene care controlează forma florilor) 30, 474
 gene preistorice (umane) **400–6**
 genele morții 531
 genomul uman 16, 28–9, 118, 276, 394, **416–24**
 comparații cu alții 408–10, 564
 înțeles 39, 607, 634, 641
 genomuri 2, 293, 353, **408–15**, 541, 546, 594
 arabidopsis 5, **27–32**, 148, 408, 410–11, 414, 541
 bacterii 38, 607
 drojdie de bere 5, 409, 610
 evoluție simultană 4, 276
 grâu 122
 maimuțe 565
 Mucegaiul roșu 411–2
 musculițe de oțet 5, 410
 orez 117–8, 122–3, 413
 Pan-animalia (dedus) 295
 peștele fugu 408–10
 șoarece 410, 634–5, 641
 uman 16, 394, 398, 408–9, 410, **416–24**, 565
 vierme inelat 410
 geoid (forma Pământului) 528
 gheața în spațiu *vezi* comete și molecule în spațiu
 gheață marină (banchize) 56, 183–4, 186–9, 335, 630, 632
 ghețari 182, 185, 188–89, 614, 735
 efecte 332, 462, 595
 în ere timpurii 271
 glanda pineală (epifiză) 109, 112
 gluoni 327–8, 330, 362, 659, 667

gluini (gluoni supersimetrice) 648
 plasma quarc–gluon 664–6
 gramatica **424–9**
 gramatica universală (teorie) 425–6
 grâu 120–2, 124
 gravitație **430–9**
 lentile gravitaționale (astronomie) 506, 509
 teoria supercorzilor **672–8**
 unde gravitaționale **684–7**
 grupe de sânge ale sistemului ABO 401, 640

H
Hallucigenia (fosilă bizară) 299–300, 301
 heliosfera 704–5, 707–8
 heliu 43, 534, 668, 707–8
 anti-heliu 26
 chimie 535
 heliu-3 din comete 463–4
 în Soare și în stele 65, 237, 534, 551, 554–5, 575, 652
 pentru propulsie 51
 primordial 65, 236, 266, 503, 535, 693
 hibrizi pitici ai cerealelor 120–1, 124
 gene (Rht și *sdl*) 124
 hidrocarburi aromatice policiclice (HAP) 536–7
 hidrogen 51, 56, 65–6, 326, 356, 360, 503, 586
 altă astronomie 380–1, 506, 534–7, 539
 antihidrogen 24, 26, 51
 depozitare 376
 fuziune 237, 266, 551, 575
 izotopi grei, 42, 51, 205, 578, 693
 în fotosinteză 364–6, 369
 în Sistemul Solar 154, 707–8
 linii Lyman (astronomie) 383, 387
 rezonanță magnetică 450
 superatomi 670
 hidroplanare (autoturisme pe șosele umede) 502
 homeobox (embriologie) 30, 253

hormon de eliberare a gonadotropinei (GnRH) 108
 hormoni 140
 în plante 31

I
 imaginile cerebrale **448–54**
 imortalitate (în celule și în organisme) **454–9**
 impacturile cometelor și asteroizilor 152, 155, **460–7**, 569–70
 amenințări viitoare 49, 156–8
 consecințe evolutive 226, 276, 281, **318–24**, 470, 494–5, 572, 625, 694
 inundații bazaltice și mișcări continentale 624, 470–71
 în originea Lunii 592–3
 în Sistemul Solar 538, 587–91
 impredictibilitate în știință 377
 indexul de vegetație (NDVI) 78–9, 83
 indicatori (trasori) radioactivi 15, 205, 365, 398, 448–50
 inflația haotică (cosmologie) 66
 influențe externe asupra științei 218
 inginerie genetică 123, 195–201, 397, 412, 416, 700
 dezactivarea genelor 514–5
 naturală 36, 195, 282–3, 411
 instabilități ale Sistemului Solar (teoria haosului) 443, 446–7
 inteligența artificială 425, 427–8
 Internet 85, 103, 222, 512, 671
 alte folosiri în scop științific 154, 302–3, 488
 baze de date biologice 29, 421, 662
 inundații bazaltice (evenimente vulcanice) **467–72**
 inventarea masculilor 146
 Io (lună vulcanică a lui Jupiter) 589–90, 592

INDEX DE SUBIECTE

ionosfera 726, 728
 Ipoteza „Bulgărelui de zăpadă Pământ” 271–2, 301
 ipoteza Gaia 274
 ipoteza perturbării medii (ecologie) 74–5, 291
 istoria evoluției 32–40
 alcool 4–5
 comportamentul primatelor 159–63
 dinozauri 223–7
 explozia Cambriană 297–301
 extincții 318–24
 ființe similare oamenilor 558–65
 gene (umane) preistorice 400–7
 geobiochimie 269–73
 mamifere 491–6
 păsări 223–7
 plante ierboase 89, 118, 277–8
 vorbia 719–25
 îmbătrânire 116, 175, 272, 454–9
 împletituri în modelul nanotuburilor 374
 încălzire globală *vezi* schimbări climatice
 încălzire mareică 589–90
 înflorire 473–7
 înșelăciuni 10–12
 învățarea spațiului în jurul unei găuri negre rotitoare 388

J
 jeturi
 de la stele 538–9
 de la Triton 590
 din comete 152
 din găuri negre 384, 390, 391
 jeturi (flux, fascicul) de particule sub-nucleare 328, 665
 jocul „dilema prizonierului” 10–11, 13
 jocul grecesc de noroc al siguranței științei 222
 Jupiter 51, 589–91, 705, 706, 713
 Impactul cometelor 156, 538
 pendularea/oscilația Soarelui 556, 710

K
 kaoni (mezoni) 20, 325–6
 kinaza (proteină semnalizatoare) 110, 142, 514
 kinezină (proteina motorie) 682

L
 La Niña – fenomene climatice 82, 246, 248
 lansare la semnal (strategie) 497
 lanțuri de polimeri încălcite 501–2
 laseri 18, 667
 în biochimie 350, 352, 354, 366, 421, 607
 în cercetarea fuziunii 267
 în chimie 372
 în controlul navetelor spațiale 714
 în fizică 192, 668–72, 684
 în geostiință 210, 315, 524, 735
 în propulsia spațială 51
 laser atomic 671
 liber arbitru 12–13
 licurici strălucind la unison 618
 limbaje 478–84
 gramatică 424–9
 vorbie 719–25
 limita Hayflick (durata de viață) 455, 457
 lingvistică computațională 427–8
 linia fierului K-alfa (astronomie cu raze X) 386–7
 litu 236, 535, 581
 deuterid de litu-6 (exploziv de fuziune) 42
 superatomi 670
 litosfera 178, 181
 loialitatea față de grup 7–8
 longevitatea homarilor 454
 lubrifierea cu apă a mișcării plăcilor 211, 213, 524, 588
 Lumea ARN la originea vieții 568–9
 lumea digitală din teoria comunicațiilor 85–6
 Lumea lipidelor la originea vieții 568–9

lumișuri și biodiversitate 73–4, 77
 Luna 47, 431, 520, 546, 585, 642, 705
 cratere pe Luna 156, 322, 463, 470, 569
 efecte asupra curenților oceanici 207–8
 formare în urma impactului 592–3
 Lumina Pământului 484–90
 maree 108, 138, 592, 685
 Pământul – Luna planetă dublă 207, 586
 Stabilizarea Pământului 585, 593–4

M
 magnetari (stele neutronice puternic magnetizate) 128, 659
 magnetosfera 704–5, 709, 729–30, 733
 manta 182, 592–3, 525–6
 curenți de convecție 468–9, 472, 525, 735–40
 Marea Unificare (fizica particulelor) 580, 646–49, 674, 677
 Marele Rift African 521, 559, 562
 markeri moleculari HLA (antigene leucocitare umane) 402–3, 640, 643
 Marte 49, 524, 588–9, 713
 căutarea formelor de viață 56, 274, 715
 efectele haosului 593
 mașinile timpului 497–9
 metaforic 136, 195, 298–9, 339, 690
 materia neagră 439, 503, 504–10, 692–3
 efecte asupra microundelor cosmice 343–4
 posibile particule exotice (weakly interacting massive particle) wimp) 25, 505–6, 577, 624, 649
 materiale amorfe 500–3
 materiale inteligente 503
 praf inteligent 194
 materie: indiciatori 503–4

INDEX DE SUBIECTE

- mecanisme evoluției 278–86
 altruism și agresivitate 6–14
 clonare versus sex 144–50
 cursa înarmării 88–92
 evoluția moleculelor 292–7 evoluție ecologică 288–92 monștri optimiști 540–8
 mediu (educație) 12, 399, 516
 mediu (geografic) *vezi* ecologie și schimbări climatice
 melcul de mare (*Aplysia*) în studiul memoriei 514
 membrane în celule 31, 346, 369, 568–9, 581, 680–1
 membrane în teoria supercorzilor 434, 675–6
 memorie 510–17
 Mercur (planeta) 470, 534, 588, 591–2
 efectele haosului 447, 593
 observarea asteroizilor de pe Mercur 157
 precesia orbitei 438
 metan 135, 273, 278
 în comete 151
 în spațiu interstelar 535, 538
 pe Titan 590–1
 primordial 56, 269–70
 semne de viață 56, 274, 715
 meteoriți 153, 155, 464, 518–20, 537, 570–1, 715
 granule presolare în 239
 metilarea în controlul genelor 541, 544
 metoda dideoxi de citire a genelor 397–8
 mezonii 325–31, 362, 614, 663, 667
 Mica Eră Glaciară 138, 186–8, 247, 336–8, 629
 microplanete transneptuniene 153–4
 microscopie electronică 175, 346, 368, 374, 377, 396, 679
 microtubuli în celule 129, 140, 143, 682
 migrația păsărilor cântătoare 111–2
 migrații 50, 72–3, 111–2
 și genetica umană 402, 405
 și limbajele 481, 721
 minerale în spațiu 517–21
 Miranda (luna scrobită a lui Uranus) 590
 misterul neutrinelor solari 574–5
 mișcarea obiectelor (neuropsihologie) 453
 mitocondrii în celule 33–4, 37, 411, 418, 532, 679, 681
 mioni (electroni grei) 97, 329, 359, 614
 efectul Matusalem asupra mionilor 104–5
 modele chimice ale cochiliilor diatomeelor 584
 modelul cu cocoașă (ecologie) 74, 76
 Modelul Standard din fizica particulelor 327–31, 355, 503, 576–80, 646–9
 modificări post-tranlaționale ale proteinelor 349, 606, 609
 molecule în spațiu 371–2, 534–40, 571–3
vezi de asemenea minerale în spațiu
 monștri optimiști (mecanisme evolutive) 219, 540–8, 625
 motive ale proteinelor 352
 multivers cuantic 87
 musafiri nepoftiți/intruși (istoria științei) 218–9
 musculița de oțet (*Drosophila*) 147, 282, 458, 542
 genom 4–5, 410, 417
 monștri șocului termic 543–5
 specia Hawaiană 293
 musoni 79, 245–6, 338, 485
 mușchi, artificial 502
 mutageneză direcționată (tehnica knock-out) 32
N
 nanotehnologie 376
 nanotuburi de carbon 370–8
 natură și educație 12, 399, 516
 nave spațiale de croazieră 47, 51
 nebuloase planetare 539
 necesitatea experimentelor îndrăznețe 26
 Neptun 153, 538, 556, 589–90
 neutrini 64, 357, 359–61, 503, 659
 de energie ultraînaltă 220, 617
 direcție de rotire 20–1, 24, 127
 în familii de particule 97, 325–31, 646–9
 în supernove 240, 356–7
 neutralini (supersimetrice) 649
 neutrini solari 574–8
 oscilații (schimbări de aromă) 574–80, 620–1,
 neutroni 65, 236, 239, 357, 503
 compoziție 239, 326, 362, 663–4
 descoperire 325
 forțe de legătură 325, 327, 434
 împrăștiere 501
 în arme 43
 în radiații cosmice 703
 în reactori 263
 nivelul mării 206, 245, 321, 528
 și activitatea vulcanică 316
 și schimbările climatice 183–4, 189, 207, 596–7, 626, 631
 nuclee de condensare din nori 275, 489–90
 nucleu suprachiasmatic (ceasuri biologice) 108, 112
 numărul Feigenbaum (delta din teoria haosului) 443
O
 obiecte astronomic masive ce formează un halo compact 505–6, 509
 obiecte în apropierea Pământului (comete și asteroizi) 156–8
 oligoelemente, nutrițional 49, 57, 81, 273, 276, 588, 645
 din vulcani 314
 olivine 213, 517–8
 ipoteza exploziilor de raze gama 519
 opoziția creaționistă la teoria evoluției 284–5
 ordine ierarhică
 zoologie–botanică 594

INDEX DE SUBIECTE

- orez 117-8, 120-4, 231, 277, 413-4, 594
 organisme subterane 56
 orientare (neuropsihologie) 451-2
 originea Sistemului Solar 151, 239, 518-9, 538, 569, 711, 713
 Originea vulcanică a vieții 567
 origini umane 109, **558-65**
 vezi de asemenea vorbirea și gene preistorice
 origini: indicatoare **573-4**
 originile calculatoarelor 84-5, 87
 originile munților **176-82**
 oscilatori autosincronizați 618-21
 Oscilații sudice *vezi* El Niño
 oscilații Suess (radiocarbon) 701-2
 oscilațiile Pământului 333, 336, 627, 696
 vezi de asemenea haos
 oscilațiile Soarelui și ale stelelor generate de planete 556, 662, 710, 713
 Oxford English Dictionary ca analog al proteomelor 610-1
 oxigen 89, 388, 449-50, 458
 criza de la debutul vieții 34, 271, 574
 despre fotosinteză 78, 270, 273, 363-6, 586
 din catalizatori 369
 din stele 237, 537
 folosit de mitocondrii 33-4, 37, 411
 în geobiochimie 262-3, 269-72
 oxigenul greu în studiul climatului 334, 626-7
 pe planete asemănătoare Pământului 715
 provizii în călătoriile spațiale 49, 520
 oxitocina (hormon) în lactație și reconectarea cerebrală 175-6
- P**
 P450 enzime în plante 30
- Pangeea (supercontinent) 177-9, 226, 469, 492-3
 Pannotia (supercontinent timpuriu) 179
 pante pe suprafața mării 206
 Paradoxul ceasului (relativitate specială) 103-4
 Paradoxul
 Einstein-Podolsky-Rosen 167-9
 partea caldă a cerului (cosmologie) 340
 parteneri moleculari (ansambluri supramoleculare) **581-5**
 particula J/psi (charmoniu) 329, 665
 particule masive cu interacțiuni slabă (wimp) 505-6, 509
 denumite particule exotice 25, 615-6, 648
 particule omega (super-stranii) 326, 330, 665
 particule virtuale 166, 356, 363
 particulele tau (electroni supergrei) 329, 576-8
 pastile contraceptive 107-8
 păcatul originar contra puritatea originară 7
 pădurea Barro Colorado, Panama 72-4
 pădurea Paracou, Guyana Franceză 74
 pădurea Pasoh, Malaezia 71
 pădurile amazoniene 71, 231
 Pământ-Lună planeta dublă 207, 586
 Strălucirea Pământului pe Lună **484-90**
 Pământul ca planetă **285-94**
 vezi de asemenea haos
 Pământul, căutarea planetelor similare lui 592, 712-5
 Pământul, interiorul lui **228-355, 521-9**
 Pământul, Sistemul Pământului 183, 275, 445, **644-5**
 Pământul, Simulator al Pământului (Yokohama) 644
- păsări 8, 16, 58, 68-9, 89, 162, 202, 319, 596
 migrația și biologia fundamentală 111-12
 originea din dinozauri 223-5, 227, 254, 542, 546
 utilizarea strategiei „dinte pentru dinte” 11
 pășuni 77, 277, 495, 595
 în evoluția umană 561-2
 productivitate 75-7, 79, 81, 289
 Peloria (floarea „monstruoasă” a lui Linnaeus) 283
 Perioada Caldă Medievală 336, 337, 629
 pigmentii ca sistem de transport 366-7
 Pioneer 10, curios de înceată 438-9
 planete 194, 595, 647, 689, 694
 armonia lui Kepler 674, 677
 haos printre planete 443, 446, 627
 influența gravitațională 431-3, 556-7, 696
 în Sistemul Solar 154-6, 322, 571, 585-94, 595, 703, 705
 materiale pentru 237, 520, 534, 540
 vezi de asemenea planetele individuale după nume
 planete ale altor stele 105, 520, 556, 655, 663, **710-8**
 planete ale altor stele (asemănătoare lui Jupiter) 592, 710-5
 plante ierboase 89, 118-9, 277-8
 plante: indicatoare **594-5**
 plasmă (gaz electricizat) 51, 704, 726-7
 cristale de plasmă **189-95**
 plasma quarc-gluon 664-5
 plasmida inductoare de tumori (cancer bacterian) 196
 platouri (Tiahuanaco) 229, 235
 plăci tectonice 54, 178-9, 208-9, 213-4, 323, 517, 588

INDEX DE SUBIECTE

- activate de impacturi? 470
 cauzatoare de explozii vulcanice 311, 317
 în Islanda 735-40
 mișcările plăcilor 469-70, 521-8
 plute lipidice (în celule) 682
 Pluto 153-4, 446, 586, 590
 plutoniu 41-2, 239
 poliene și cianopoliene 371-2
 polimeri 501-3
 polimorfism dinamic (teoria evoluției) 148
 portret robot folosind ADN-ul 16-7
 porți logice ȘI și SAU (logica automatelor) 84
 porumb 118-22
 gene „săltărețe” la porumb 540
 transgenic 199, 201
 Potopul lui Noe pus în seama unei comete 322
 pozitroni (antielectroni) 20-22, 26, 65, 355-6, 614
 pentru acceleratori, *vezi* scanări electronice PET 449
 praf 256, 275, 485, 626, 630, 632
 din impacturi 57, 319-20, 466
 industrial 189-90, 194
 în comete 151-2, 155-6, 190, 463, 518, 572-3
 în ere glaciare 626
 în galaxii 243, 258-9, 308-11, 381, 384, 690
 în jurul stelelor 190-1, 241, 319-20, 518, 536, 711-2
 în Sistemul Solar 189-90, 319, 518-9, 588, 711
 plasma prăfoasă 189-95
 praf inteligent 194-5
 vulcanic, 313-8, 467
 prădători 70, 90, 111, 146, 225-7, 494-6, 560
 lipsa lor 300, 595-8
 principiul antropic (cosmologie) 694, 696
 principiul echivalenței în teoria gravitației 430, 437-8
 principiul incertitudinii 165-6, 170, 433
 Principiul Reginei de Cupă în teoria evoluției 90-1, 147
 prioni (particule proteice infectioase) 221, 547, 598, 599-604, 625, 636
 procesarea vizuală în creier 174
 producerea spermatozoizilor și a ovulelor 140
 productivitatea pășunilor tropicale 79
 progesteron (hormon) 107-8
 Propoziții relative (lingvistică) 483
 proteine 4, 15, 37, 252, 345-9, 377, 392, 421, 58
 anticongelante 58
 colagen 114
 convertoare de semnal 545
 enzime globale 269-78
 factor al dezvoltării nervilor 174
 fidelitate 458
 formarea proteinelor 140, 395-6, 680-1
 forme 36-7, 126, 349-54, 392, 440
 FOX 723-5
 în acțiunea creierului 512-6
 în ceasuri biologice 110
 în controlul genelor 286
 în diviziunea celulară 142
 în evoluție 36-7, 149, 282, 293, 295-6, 368, 493
 în fotosinteză 366-9
 în hrănire 232-3
 în moartea celulei 532
 în originile vieții 567-9
 în plante 30, 31, 410-1, 474
 în sistemul imunitar 638, 640, 643
 în traficul celular 680-2
 kinezine 682
 microtubuli 140, 142-3
 prioni 221, 547, 599-604, 625
 proteina șocului termic 545-8
 telomerază pentru imortalitate 454
 vezi de asemenea proteome
 proteinele de șoc termic 545-8
 proteome 276, 421, 605-11
 proteomica planetară 276
 protoctiste (creaturi unicelulare) 33-4, 39-40
 protoni 65, 236, 357, 503, 614, 657
 acceleratori 96-8, 360-1
 compoziție 239, 326, 362, 663-4
 forțe de legătură 325, 327, 330, 434
 în fotosinteză 365
 precizarea dezintegrării 22-4, 647-9
 protoni solari 728, 732
 rezonanța magnetică 450
 rude cu greutate 326, 328-9, 659
 puls solar 554
 pulsari *vezi* stele neutronice
 puțuri de apă (cenote) reconstituind un impact cosmic 460
Q
 quarci 24, 141, 239, 330-1, 503, 579, 646-7
 bottom 23, 98, 329
 ca fermioni 667
 denumirea 326
 din Big Bang 60, 64, 663
 farmec 328-9, 665
 forța de culoare 65, 327-8, 362, 434, 663-4
 interacțiuni cu Higgs 98
 schimbări în electroni 647
 squarci (supersimetrice) 648
 „strange” 23, 326, 329, 614, 664
 sus și jos 326, 329
 top 97, 329, 331
 quasari 91, 219, 305-7, 383-6, 389, 433
 în geodezie 524
 studii legate de roiuri 508-9, 692
 qubiți (biți cuantici) 84-88
R
 radiații cosmice 612-7, 650, 696
 anomalii ale radiațiilor cosmice 707
 descoperiri de particule 19-20, 325, 329, 577

INDEX DE SUBIECTE

- efectele plasmei 194
 efectul Matusalem 105
 influența asupra formării
 norilor 487–90, 645
 influența solară 337, 633,
 701–6
 în chimia interstelară 536
 scindarea fotonilor 356–7
 radioactivitate 51, 94, 263,
 266, 284, 613
 datarea rocilor 284, 320
 forța slabă în 20–21, 64,
 327, 355, 357, 362, 667
 instabilitate nucleară 238
 interiorul Pământului 264,
 357, 471, 524
 în radiații cosmice 614
 în supernove 241–3
 în tritiu 205, 579
 raze X 106, 164, 171, 219,
 435, 526
 din elemente selenare 593
 din explozii de raze gama
 302–7, 519
 din galaxii timpurii 243
 din găuri negre 381, 386–90,
 437
 din resturile supernovelor
 242–3, 614, 658
 din roiurile de galaxii 506
 din Soare 705, 728–9, 731
 din stele neutronice 659–61
 interiorul Soarelui 551
 în analiză biomoleculară 36,
 347, 350, 354, 369, 373,
 392–3
 laser cu raze X 350, 354, 421
 produse de sincrotron 350,
 369
 sisteme binare de raze X 658
 reactoarele nucleare naturale
 Oklo (Gabon) 262–3
 reacția de polimerizare în lanț
 (PCR) 397, 559
 recombinarea genelor (spli-
 cing) 396
 în inginerie genetică 197,
 568
 reglare de jos în sus în ecolo-
 gie 596–7
 reglare de sus în jos (ecolo-
 gie) 596–7
 reglarea genelor 31–2, 138,
 142, 296, 301
 efecte epigenetice 544
 gramatica genetică 409
 în bacterii 393
 în ciclul celular 142
 în evoluția umană 565
 în moartea celulei 530–1
 relativitate: indiciatori 617
 repararea genelor 30, 55, 141,
 149
 resălbăticire 598
 resurse de mangan în fotosin-
 teză 365, 368
 rețele de gene (embriologie)
 254
 Revoluția Verde 119–20, 124,
 201, 594
 rezonanța magnetică nucleară
 353, 450
 ribonucleaza la rumegătoare
 277–8
 ribozime (enzime ARN)
 568–9
 ribozomi 353–4, 346–9, 568,
 606, 680
 evoluția la ribozomi 37, 346
 rifturi 54, 178, 581
 ritmurile cerebrale (elec-
 troencefalografie)
 618–23
 roboți mai inteligenți decât
 oamenii 52, 428
 roiul stelar Pleiade 651–2
 roiuri de galaxii 255, 344,
 504, 506, 508–10
 ca rigle cosmice 259, 691–2
 roiuri globulare de stele 382,
 389, 506, 662
 mesaj către M13 717
 ruginirea scoarței terestre
 270–1
- S**
 Sagittarius A* (gaură neagră
 centrală în Calea Lactee)
 389
 Saturn 190, 520, 538, 556,
 570, 589–91, 689
 scanări cerebrale (IRM sau
 RMN – imagistică prin
 rezonanță magnetică)
 450
 scanări PET (tomografie cu
 emisie de pozitroni)
 449–50
 scara lui Bernal 624–5
 schimbare de paradigmă (isto-
 ria științei) 217, 624
 schimbări climatice 626–34
 „Bulgărele de Zăpadă” 271,
 301
 ciclul carbonului 132–39
 comprimarea heliosferei 708
 criosfera (crusta de gheață)
 182–9
 curenți oceanici 202–8
 efecte ale haosului 447
 efecte ale vulcanilor 311–18
 El Niño 244–8
 fenomene glaciare 332–8
 înnoirare 484–90
 metan 269–70, 278
 răcirii din vremea dinozau-
 rilor 495
 schizofrenia, genetica schizo-
 freniei 423
 semnale de alarmă asupra
 foametei obținute din
 date spațiale 79
 senzori de lumină (receptori
 vizuali) la animale și la
 plante 109–10, 474
 sex (reproducere sexuală)
 140, 215, 406, 420, 455
 evoluția 36, 39, 90–2,
 144–50, 281, 641
 sex bacterian 36
 sex, bacterian 35–6
 sfere Bernal (habitate spațiale)
 48
 Shoemaker-Levy 9, Cometa
 156, 538
 silențierea ARN 412–3
 silențierea post-translațională
 a genelor 412
 Silly Putty 501
 simbioză în evoluția celulei
 32–5
 simetrie în fizica fundamen-
 tală 25, 261, 357–8, 649
 asimetrie 21, 25, 127
 sinapsele celulelor nervoase
 173
 rol în memorie 511–4
 sinteza aperturii la telescoape
 185, 654
 radar cu apertură sintetică
 (SAR) 185–6, 213
 sinteza neodarwinistă (Darwin
 plus Mendel) 280,
 283–5, 294, 542–7
 sisteme dinamice 422

INDEX DE SUBIECTE

- sistemul imunitar 109, 116, 532, 602, **634-43**
 problemele astronautilor 49, 642-3
 sistemul somităților – o
 piedică în calea
 descoperirilor 221
 snips (polimorfism mononucleotidic) 422
 Soare 108, 111, 689
 distanța până la 447, 627
 efect asupra luminii stelare 431-2
 efecte climaterice 138, 337-8, 486-9, 630, 632-3
 interiorul 219, **549-57**, 653
 în sistemul Pământului 644
 mișcarea în galaxie 340, 505
 moartea Soarelui 50, 538
 puterea fuziunii în 237, 264, 266, 284, 574-7
 rol în fotosinteză 363-4, 369
 surori ale Soarelui 382
 vremea spațială 551, **726-34**
vezi de asemenea vânt solar
 sociolingvistică **478-84**
 sodiu și potasiu în celule nervoase 238, 408, 581
 sparticule (particule supersimetrice) 505, 646-50
 spațiu multidimensional 67, 434-6, 649, 675-7, 695
 Spațiul fazelor (teoria haosului) 442
 spirala Parker în câmpul magnetic interplanetar 704, 706
 stângaci, faimoși 130
 Stația Spațială Internațională 25, 48, 80, 192-3, 390, 616, 728
 stația spațială MIR 49, 642
 stele 651-6
vezi de asemenea elemente, stele neutronice, Soarele
 stele halo 237, 382
 stele neutronice 238, 241, 506, **657-63**, 664, 687, 712
 coliziuni 305-6, 686
 forța de respingere în 671
 magnetari 128
 stomatele frunzelor – indicatori ai nivelului de CO₂
 136-9
 stranietate (fizica particulelor) 326, 665
 Straturi de loess ca registru climatic 626
 straturile electronilor și particulelor nucleare 238
 stromatolite (mobile bacteriene fosile) 368
 sulf și compuși 55, 271, 276, 368, 645
 formarea norilor 204, 274-5, 489-90
 Io 590
 în condrele 519
 în emisii vulcanice 315, 317, 367
 în explozii de raze gama 306
 în poluarea aerului 632
 în spațiu interstelar 535
 în supape hidrotermale 55
 Venus 587
 supa de quarci (plasma quarc-gluon) 63, 64, 503, **663-6**
 în stele neutronice 659
 supape hidrotermale 53-6, 58, 567
 supă, primordială (originea vieții) 567, 570-11
 superatomi 164, **666-72**
 superatomi de rubidiu 670-1
 superatomi de sodiu 670
 supercalculatoare 117, 212, 444, 507, 631, 644
 pentru modele oceanice 204, 247
 supercontinente **176-82**, 226, 301, 469, 492-3
 supercorzi **672-8**
 supernove (stele explozive) 240-4, 661
 cauza exploziilor de raze gama 305-6
 foarte îndepărtate 256-61
 neutrini din 356-7
 supersimetrie (fizica particulelor) 504-5, 646, 648-9, 674
 supraconductoare 93, 373, 376, 501, 621, 659, **666-72**
 magneti 36
 suprafluide **666-72**
 în stele neutronice 659
 surse de minereu de nichel generate de impacturi cosmice 462
 știința cognitivă 14, 399, 429
- T**
 tabelul periodic al elementelor 165, 238
 tectonici sus-jos (dinamici globale) 526
 tehnica ADN-ului recombinat 196
 tehnica shotgun (citirea întregului genom) 29, 118, 409, 413-5
 folosită pentru genomul uman 416-7, 419, 422
 teleportarea fotonilor 170
 telomeri pe cromozomi 454-7
 tenul lăptăreselor 698
 teoria aproape neutră a evoluției moleculare (Ohta) 296-7
 teoria Bardeen-Cooper-Schrieffer (supraconductibilitate) 669
 teoria catastrofelor 440-1
 teoria comunicării 85
 teoria cuantică 17, 344, 618, 669, 674
 istoria și conexiunea cuantică **163-71**
 în Big Bang 63, 66
 în forțe 325, 327, 356-7, 434
 în molecule 371-2
 relația față de gravitație 61, 362, 433-7, 439, 617-8
 teoria farului în studiul pulsarelor 658, 659
 Teoria Finală (fizică) 434, 649, 675
 teoria haosului 210, **440-47**, 586, 593
 teoria inflaționistă a Big Bang-ului 61-3, 66-7, 343
 teoria neutră a abundenței și diversității (ecologie) 72-3
 teoria neutră a evoluției moleculare (Kimura) 72, 293-4
 teoria stării staționare (cos-

INDEX DE SUBIECTE

mologie) 339, 688, 691, 695
 teoria termosalină a curenților oceanici 206-7
 teoria turbulențelor 441, 444, 446
 teoriile măsurilor în fizica particulelor 330
 teratom (formă de cancer) 114-7
 Tethys, ocean dispărut 177
 TIM (triozo-fosfat-izomerază) toroidal în proteine 352
 timpul influențat de gravitație 385, 387, 432-5
 timpul influențat de mișcare 100-6
 tipuri de țesut 395, 402-4, 636, 640
 tomografie seismică 526, 739
 traduceri automate 427
 transcriere inversă (ARN - ADN) 36, 395
 transcrierea/transcripția informației genetice 345, 680
 inversă 36
 transferul lateral de gene (evoluție) 38-9, 198
 transformarea olivinei în serpentin în cutremure 213
 translația informației genetice 345-7, 604
 transpozoni (gene săltărețe, elemente genetice mobile) 540-1, 548
 trenuri de mare viteză cu control seismic 212
 tribalism 9
 trilobiți (fosile) 297-8, 300
 triplă joncțiune (tectonica plăcilor) 208
 Triton, luna lui Neptun 154
 tsunami (valuri mareice) 314
 produse de cutremure 212
 produse de impacturi 461, 466
 produse de vulcani 312-3, 317
 tulburări determinate de schimbarea fusului orar 108, 111
 Turnul înclinat din Pisa, greutatea aruncate din 431, 432, 439

U
 unde atomice (comportament cuantic) 164
 unde de materie 164, 166, 669-70
 unde Kelvin în oceane 248
 unde pilot (teoria cuantică) 167, 171
 unde radio submilimetrice 310-1, 539
 unde sonore 672-3
 în Big Bang 62, 65, 340-42, 576
 în stele și Soare 550-2, 653
 în superatomi 670
 Univers (cosmologie) 688-96
 Big Bang 59-68
 energie neagră 255-62
 Fondul de microunde cosmic 338-44
 materie neagră 504-10
 supercorzi 672-8
 universul fractal 691
 Universul neschimbat (Euclidian) 688
 universuri multiple (cosmologie) 67-8, 695
 Uranus 538, 556, 589-90
 urmele de iridiu ale impacturilor cosmice 226, 319, 322
 „uzine de particule” B (quarci bottom) 23-4

V
 vaccin 149, 458, 635, 699
 contra virusului SIDA 642
 vânt solar 190, 487, 701-8, 729-30
 propulsie prin 51
 vânturi alizee 244-8, 400-1, 495
 variații sezoniere în dioxidul de carbon 79-80, 134
 variolă 635-6, 697-701
 vârtejuri oceanice (circulația la mezoscară) 202-4
 Venus 586-7, 591, 593
 impacturi 587, 463
 în testarea teoriei generale a relativității 432, 685
 vernalizarea la plante 474-5, 477
 viața 2, 4-5, 86, 498

arborele evoluției 32-40
 ca forță geologică 269-78
 cadru cosmic 67, 236, 536, 540, 694-6, 710-8
 exportul de pe Pământ 47-52, 197, 695-6, 718
 originea 126-8, 566-73
 Pământul cadru propice pentru viață 266, 585-7, 594
 rivali chimici 584
 vezi de asemenea
 extremofile
 viața extraterestră 710-18
 bănuielei 657
 viduri în spațiul intergalactic 508, 691-2
 viermi ca strămoși ai animalelor 300
 viermi inelați (nematodi *Caenorhabditis*) 253
 genom 410
 moartea celulei 531, 533
 silențierea ARN la 412-3
 vikingi 186-7, 405, 407, 422
 violarea parității (P) 21-22, 26, 128
 virusuri 16, 148, 150, 371, 600
 care forțează celulele 681
 genomuri ale 398, 409, 418-9
 metode de protejare 532, 533, 641-2
 noi 89, 635
 retrovirusuri 395-6
 silențierea ARN contra 412
 transfer de gene prin intermediul 36, 411
 variolă 697-701
 vitamine 141
 B12 351, 581
 D 402
 viteza luminii 50, 690
 depășește undele seismice 212
 depășită de expansiunea spațiului 64
 în relativitate 100-6, 264, 431-2
 încetinită de superatomi 670
 viteza variabilă a luminii în cosmologie 695
 vorbirea 719-25
 vremea spațială 552, 726-34

INDEX DE SUBIECTE

- vremea și teoria haosului
 443–5
 vulcani 49, 56, 246, 248, 465,
 588, 644–5
 explozii 311–8
 inundații bazaltice 467–72
 în zone fierbinți 735–40
 la marginile plăcilor 178,
 218, 523
 pe Io (luna lui Jupiter)
 589–90
 pe Venus 587
- supape hidrotermale pe fun-
 dul mării 53–5, 364
- X**
 xenon–133 în imagini cere-
 brale 449
- Z**
 Z-ADN (se rotește invers)
 126
 zăcămintele de fier 2, 269–71
 zăcămintele de mangan 271–2
 zăcămintele de uraniu 263, 276
- zircon ca dovadă a existenței
 oceanului primordial
 569–70
 zone de vegetație 78, 80
 zone fierbinți (vulcanice) 625,
 735–40

Nigel Calder

UNIVERSUL MAGIC

Vă invităm în universul magic al orizonturilor cunoașterii,
de la quarcuri la lingvistică, de la schimbări climatice la clonare...

„Este un autor excepțional, în privința forței, a gradului de înțelegere și a calității sale de scriitor... Nigel Calder rămâne cel mai bun în sfera lui de informație și în profunzime... el se străduiește să prezinte lucrurile așa cum sunt în realitate, într-un stil de mare claritate și eleganță.”

Sir MARTIN REES, FRS, Astronomer Royal

Haosul

Fluturile contra buburuză și Efectul Mercur

Ceasurile biologice

Mecanisme moleculare ce guvernează viața de zi cu zi

Limbajele

De ce femeile lansează moda în exprimare

Superstringuri

În rezonanță cu imaginația cosmică

Clonarea

De ce procrearea fără sex amenință sănătatea
Cea mai mare întrebare a fizicii contemporane?

Universul

„Trebuie să se fi știut că venim”

Descifrând chimia memorării și a uitării